



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μελέτη Υδροδότησης Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων

-

Μελέτη Εξωτερικού Υδραγωγείου και Μ.Υ.Η.Ε. στην
περιοχή πηγής Κωστηλάτα

ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ:

ΓΚΟΥΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΚΟΥΝΤΡΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΠΡΟΜΠΟΝΑΣ ΜΑΝΟΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΜΑΜΑΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΝΑΝΟΥ – ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Αθήνα
Μάρτιος, 2021

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Δήμαρχο Κεντρικών Τζουμέρκων κ. Χρήστο Χασιάκο για το χρόνο που αφιέρωσε στην ανάλυση των προβλημάτων της περιοχής μέσω διαδικτυακής επικοινωνίας, την όρεξη με την οποία μας καθοδήγησε σε καίρια σημεία της εργασίας και το υλικό που μας πρόσφερε.

Επιπλέον, τον κ. Παύλο Μαρίνο, τον κ. Βασίλη Μαρίνο και τον κ. Δημήτρη Γεωργίου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση για τα γεωτεχνικά ζητήματα που αντιμετωπίσαμε καθώς και τον κ. Ευστράτιο Μπαδογιάννη για τη συνδρομή του στη μελέτη προστασίας και συντήρησης των δεξαμενών του δικτύου ύδρευσης.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους επιβλέποντες καθηγητές μας για τις συμβουλές, τις διορθώσεις και την επικοινωνία καθ' όλο το εξάμηνο.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Πίνακες	vi
Χάρτες.....	viii
Εικόνες.....	ix
Σχήματα	xiii
Διαγράμματα.....	xiv
1. Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία για το Νερό.....	2
1.3 Ελληνικοί Κανονισμοί Δικτύων Ύδρευσης	6
1.4 Αντικείμενο της Μελέτης	8
1.5 Δομή Εργασίας	9
2. Γενικά Χαρακτηριστικά Τζουμέρκων	10
2.1 Καθορισμός και Αναγνώριση Περιοχής Μελέτης.....	10
2.2 Διοικητικά Χαρακτηριστικά και σχέση με ευρύτερη περιοχή	10
2.3 Υδάτινο Δυναμικό.....	11
2.4 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά.....	12
2.5 Χρήσεις Γης.....	12
2.6 Δομημένο Περιβάλλον - Οικισμοί	13
3. Δίκτυα Ύδρευσης.....	15

3.1	Ορισμός και δομή Δικτύων Ύδρευσης.....	15
3.2	Είδη Δικτύων Ύδρευσης.....	16
3.2.1	Ακτινωτά Δίκτυα Ύδρευσης.....	16
3.2.2	Κλειστά Δίκτυα Ύδρευσης.....	16
3.3	Λειτουργικές Απαιτήσεις Δικτύων Ύδρευσης.....	16
3.4	Σχεδιασμός Δικτύων Ύδρευσης.....	17
3.5	Προβλήματα Δικτύων Ύδρευσης.....	18
3.6	Κλειστοί Αγωγοί υπό πίεση βαρύτητας.....	18
3.7	Υλικά Κατασκευής Αγωγών.....	19
4.	Μοντέλα Προσομοίωσης και Επίλυσης Δικτύων Ύδρευσης.....	21
4.1	Το Δίκτυο Ύδρευσης ως μαθηματικό μοντέλο.....	21
4.2	Λογισμικό Επίλυσης Υδρευτικών Δικτύων - EPANET.....	22
4.2.1	Υδραυλική Μοντελοποίηση.....	22
4.2.2	Διαδικασία Χρησιμοποίησης του EPANET.....	22
4.2.3	Εφαρμογές του EPANET.....	22
4.3	Μεθοδολογία Επίλυσης Δικτύων στο EPANET.....	23
5.	Μοντελοποίηση Νέων Δικτύων Διανομής.....	24
5.1	Περιοχή Μελέτης.....	24
5.2	Δεδομένα Περιοχής Μελέτης.....	26
5.2.1	Πληθυσμιακά Δεδομένα – Δημογραφική Κατάσταση.....	26
5.2.2	Πολεοδομικά Δεδομένα.....	27

5.3	Συνθήκες Εκμετάλλευσης – Υφιστάμενες Υδατικές Δεσμεύσεις και Δυσχέρειες.....	27
5.4	Μοντελοποίηση Νέου Δικτύου Διανομής.....	28
5.4.1	Περιγραφή Νέου Δικτύου.....	28
5.4.2	Σχηματική Διάταξη Νέων Δικτύων.....	31
5.4.3	Παραδοχές Υδραυλικών Υπολογισμών και Σενάρια Φόρτισης.....	33
5.5	Αποτελέσματα Υδραυλικών Επιλύσεων του Δικτύου.....	34
5.5.1	Συνθήκες Μέσης Ημερήσιας Κατανάλωσης - Φράστα.....	34
5.5.2	Συνθήκες Μέσης Ημερήσιας Κατανάλωσης - Κτιστάδες.....	40
6.	Μελέτη Εξωτερικού Υδραγωγείου.....	47
6.1	Ιστορική Ανασκόπηση Υδραγωγείων.....	47
6.2	Σκοπιμότητα του Έργου.....	48
6.3	Περιοχή Πηγής Κωστηλάτα.....	49
6.3.1	Γεωλογία Περιοχής.....	49
6.4	Στοιχεία Σχεδιασμού.....	52
6.5	Υδραυλικοί Υπολογισμοί.....	54
6.6	Εκτίμηση Κόστους Εξωτερικού Υδραγωγείου.....	56
7.	Μέθοδος Υπόγειας Διάνοιξης.....	57
7.1	Εισαγωγικά Στοιχεία.....	57
7.2	Μέθοδοι Διάτρησης – Trenchless Technology.....	57
7.2.1	Πλεονεκτήματα Μεθόδων Trenchless.....	57
7.2.2	Μέθοδοι μη Κατευθυνόμενης Διάτρησης.....	58

7.2.3 Μέθοδοι Κατευθυνόμενης Διάτρησης.....	65
7.3 Σύγκριση Μεθόδων – Τελική Επιλογή.....	69
8. Εκμετάλλευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	70
8.1 Γενικά	70
8.2 Ιστορική Αναδρομή	70
8.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια - Ελλάδα	73
8.3.1 Γενικά	73
8.3.2 Ελληνική Νομοθεσία Μ.Υ.Η.Ε.	74
8.4 Συνιστώσες Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων.....	74
8.4.1 Υδροληψία	74
8.4.2 Σύστημα Προσαγωγής	75
8.4.3 Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας	75
8.4.4 Υδροστρόβιλοι Κατάλληλοι για Μ.Υ.Η.Ε.	75
8.5 Μονάδα Παραγωγής Υδροηλεκτρικής Ενέργειας στην περιοχή Κορακάδα - Αθαμάνιο.....	76
8.6 Οικονομική Ανάλυση - Χρηματοροές	79
9. Συντήρηση Δεξαμενών	81
9.1 Χαρακτηριστικά – Προβλήματα Δεξαμενών	81
9.2 Τρόποι Αντιμετώπισης	84
Βιβλιογραφία.....	88
Παράρτημα	90

Πίνακες

Πίνακας 1:	Δημογραφικά Χαρακτηριστικά	12
Πίνακας 2:	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υλικών Κατασκευής Αγωγών.....	20
Πίνακας 3:	Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - πάνω τμήμα δικτύου - Φράστα	29
Πίνακας 4:	Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - κάτω τμήμα δικτύου - Φράστα.....	29
Πίνακας 5:	Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος – πάνω τμήμα δικτύου - Φράστα	29
Πίνακας 6:	Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος – κάτω τμήμα δικτύου - Φράστα.....	29
Πίνακας 7:	Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - πάνω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες	30
Πίνακας 8:	Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - κάτω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες	31
Πίνακας 9:	Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος – πάνω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες	31
Πίνακας 10:	Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος – κάτω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες.....	31
Πίνακας 11:	Υπολογισμός παροχών για το δίκτυο - Φράστα	33
Πίνακας 12:	Υπολογισμός παροχών για το δίκτυο - Κτιστάδες	33
Πίνακας 13:	Παροχή – Υψόμετρο – Πίεση σε κάθε κόμβο - Φράστα	35
Πίνακας 14:	Φράστα λειτουργία Κρουνού ΚΡ1	38
Πίνακας 15:	Φράστα λειτουργία Κρουνού ΚΡ2	38
Πίνακας 16:	Φράστα λειτουργία Κρουνού ΚΡ3-ΚΡ16	39
Πίνακας 17:	Φράστα λειτουργία Κρουνού ΚΡ4	39
Πίνακας 18:	Παροχή – Υψόμετρο – Πίεση σε κάθε κόμβο - Κτιστάδες	41
Πίνακας 19:	Κτιστάδες λειτουργία Κρουνού ΚΡ1	44
Πίνακας 20:	Κτιστάδες λειτουργία Κρουνού ΚΡ2	44

Πίνακας 21: Κτιστάδες λειτουργία Κρουνού ΚΡ3	45
Πίνακας 22: Κτιστάδες λειτουργία Κρουνού ΚΡ4	45
Πίνακας 23: Παράμετροι Αντοχής Άρρηκτου πετρώματος.....	52
Πίνακας 24: Παράμετροι Αντοχής Άρρηκτης βραχόμαζας	52
Πίνακας 25: Υπολογισμός Χαρακτηριστικών Αγωγού	55
Πίνακας 26: Υπολογισμός Απωλειών Αγωγού	55
Πίνακας 27: Εκτίμηση Κόστους Εξωτερικού Υδραγωγείου.....	56
Πίνακας 28: Αναγωγή των χρηματικών ποσών(εσόδων – εξόδων) σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή	80
Πίνακας 29: Κέρδος των 2 Εναλλακτικών Σεναρίων	80

Χάρτες

Χάρτης 1: Γεωγραφικός Χάρτης Ελλάδας	10
Χάρτης 2: Περιφέρεια Ηπείρου - Τζουμέρκα.....	10
Χάρτης 3: Κάλυψη Γης (Corine, 2012) Περιοχής Τζουμέρκων	13
Χάρτης 4: Οικιστικό Δίκτυο Περιοχής Τζουμέρκων	13
Χάρτης 5: Χωρικές – Συγκοινωνιακές Εξαρτήσεις Περιοχής Τζουμέρκων	14
Χάρτης 6: Σχήμα Γεωτεκτονικών Ζωνών Ελλάδος	50
Χάρτης 7: Γεωλογικός Χάρτης Περιφέρειας Ηπείρου	50
Χάρτης 8: Απόσπασμα γεωλογικού φύλλου ΙΓΜΕ «ΑΓΝΑΝΤΑ» με την περιοχή του έργου	51

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας.....	3
Εικόνα 1.2: Ο υδρολογικός κύκλος.....	4
Εικόνα 2.1: Οροπέδιο της Κωστηλάτας.....	11
Εικόνα 3.1: Δομή Δικτύου Ύδρευσης.....	15
Εικόνα 3.2: Ακτινωτή και Βρογχωτή Μορφή Δικτύων Ύδρευσης.....	16
Εικόνα 5.1: Θέση οικισμού Φραστών στο Δήμο Κ.Τζουμέρκων.....	24
Εικόνα 5.2: Γενική φώτο του οικισμού των Φραστών.....	24
Εικόνα 5.3: Θέση οικισμού Κτιστάδων στο Δήμο Κ.Τζουμέρκων.....	25
Εικόνα 5.4: Γενική φώτο του οικισμού των Κτιστάδων.....	26
Εικόνα 5.5: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Φράστα – Google Earth.....	32
Εικόνα 5.6: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Κτιστάδες – Google Earth.....	32
Εικόνα 5.7: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Φράστα – Epanet.....	32
Εικόνα 5.8: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Κτιστάδες – Epanet.....	32
Εικόνα 5.9: Απεικόνιση υδραυλικής επίλυσης νέου δικτύου – Φράστα – Epanet.....	35
Εικόνα 5.10: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία του κρουνού KP1.....	36
Εικόνα 5.11: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία του κρουνού KP2.....	36
Εικόνα 5.12: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία του κρουνού KP3-KP16.....	37
Εικόνα 5.13: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία του κρουνού KP4.....	37
Εικόνα 5.14: Κλειστός αγωγός K2-K3 (άνω δίκτυο) Δ2-K12 (κάτω δίκτυο).....	40
Εικόνα 5.15: Απεικόνιση υδραυλικής επίλυσης νέου δικτύου – Κτιστάδες – Epanet.....	41

Εικόνα 5.16: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία του κρουνού KP1	42
Εικόνα 5.17: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία του κρουνού KP2	42
Εικόνα 5.18: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία του κρουνού KP3	43
Εικόνα 5.19: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία του κρουνού KP4	43
Εικόνα 5.20: Κλειστός αγωγός K1-K6 (άνω δίκτυο) K13-K22 (κάτω δίκτυο).....	46
Εικόνα 6.1: Τυπική Σχεδίαση Εξωτερικού Υδραγωγείου	47
Εικόνα 6.2: Τρόπος Κατασκευής του ορύγματος του Ευπαλίνου	48
Εικόνα 6.3: Πηγή Κωστηλάτα – Θεοδώριανα (Google Earth)	49
Εικόνα 6.4: Προτεινόμενη Όδευση από την Πηγή Κωστηλάτα.....	53
Εικόνα 6.5: Ηλεκτρομούφα.....	54
Εικόνα 7.1: Κεφαλή μηχανήματος Microtunneling κατά την τοποθέτηση	59
Εικόνα 7.2: Πραγματοποίηση πιλοτικής διάτρησης	59
Εικόνα 7.3: Κατευθυνόμενη πιλοτική κεφαλή.....	60
Εικόνα 7.4: Διεύρυνση της πιλοτικής διάτρησης.....	60
Εικόνα 7.5: Παθητική κεφαλή διεύρυνσης.....	60
Εικόνα 7.6: Ενεργή κεφαλή διεύρυνσης.....	61
Εικόνα 7.7: Τοποθέτηση τελικής επένδυσης	61
Εικόνα 7.8: Σωλήνας τελικής επένδυσης.....	61
Εικόνα 7.9: Κεφαλή μηχανήματος Microtunnelling με ατέρμονα κοχλία κατά την τοποθέτηση	62
Εικόνα 7.10: Κεφαλή μηχανήματος Microtunnelling με ατέρμονα κοχλία κατά την εγκατάσταση	62
Εικόνα 7.11: Απεικόνιση διάταξης εργοταξίου διάτρησης με μηχάνημα πίεσης πολφού	62

Εικόνα 7.12: Απεικόνιση διάταξης συστήματος πίεσης πολφού-Microtunelling Slurry System	63
Εικόνα 7.13 – 7.14: Κεφαλές συστήματος πίεσης πολφού για βράχο υψηλής αντοχής και μαλακά εδάφη αντίστοιχα.....	64
Εικόνα 7.15: Γενική διάταξη εργοταξίου κατασκευής μεθόδου PipeJacking	64
Εικόνα 7.16: Αναπαράσταση σταδίων μεθόδου Horizontal Directional Drilling	66
Εικόνα 7.17: Διατρητικό μηχάνημα μεθόδου Horizontal Directional Drilling.....	66
Εικόνα 7.18: Αναπαράσταση διάτρησης	67
Εικόνα 7.19: Αναπαράσταση συστήματος Walkover	67
Εικόνα 7.20: Διευρυντήρας πιλοτικής οπής	68
Εικόνα 7.21: Διεύρυνση της οπής και εγκατάσταση νέου σωλήνα	68
Εικόνα 8.1: Εξέλιξη Δυναμικότητας της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας 1900 - 2017	71
Εικόνα 8.2: Υδραυλική Ενέργεια ως ποσοστό της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας	72
Εικόνα 8.3: Εγκατεστημένη Ισχύς της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας το 2019	72
Εικόνα 8.4: Παγκόσμια Κατανομή Εγκατεστημένης Ισχύς Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	73
Εικόνα 8.5: Ποσοστό Παραγωγής Ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.....	73
Εικόνα 8.6: Υδροηλεκτρικά Έργα της Δ.Ε.Η. που είναι σε λειτουργία	74
Εικόνα 8.7: Γεωγραφική Κατανομή των Μ.Υ.Η.Ε στην Ελλάδα	74
Εικόνα 8.8: Δύο Εναλλακτικά Σενάρια Τοποθέτησης του στροβίλου Παραγωγής Ενέργειας	77
Εικόνα 8.9: Τύπος Χρηματοροών.....	80
Εικόνα 9.1: Τυπική Αστοχία μετά από αρκετούς κύκλους ψύξης – απόψυξης	81
Εικόνα 9.2: Δοκιμή κρουσιμέτρου	82
Εικόνα 9.3: Ρηγμάτωση σκυροδέματος.....	83

Εικόνα 9.4: Στάδια διάβρωσης και ρηγματώσης του οπλισμού και του σκυροδέματος.....	83
Εικόνα 9.5: Δεξαμενή με διαφυγές.....	84
Εικόνα 9.6: Συμβιβαστό των παραμορφώσεων	84
Εικόνα 9.7: Απομάκρυνση του σαθρού σκυροδέματος γύρω από τον οπλισμό	84
Εικόνα 9.8: Επάλειψη με αναστολέα διάβρωσης.....	85
Εικόνα 9.9: Θυσιαζόμενα ανόδια τύπου βαρελιού	85
Εικόνα 9.10: Τελικό αποτέλεσμα μετά την επικάλυψη του οπλισμού	86
Εικόνα 9.11: Μεμβράνες Sikarlan	86
Εικόνα 9.12: Αποτέλεσμα μετά την θερμοσυγκόλληση	87

Σχήματα

Σχήμα 1: Γεωλογική Τομή κατά μήκος του έργου	51
Σχήμα 2: Ταξινόμηση βραχόμαζας ψαμμιτών Ανεμοράχης (3Fi)	52
Σχήμα 3: Μηκοτομή Όδευσης	53
Σχήμα 4: Μηκοτομή Όδευσης – Πιεζομετρική Γραμμή - Απώλειες	55

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Εύρος Λειτουργίας Υδροστροβίλων συναρτήσει του ύψους πτώσης και της παροχής	76
Διάγραμμα 2: Μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης παροχής	77
Διάγραμμα 3: Μεταβολή του ετήσιου κέρδους του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων συναρτήσει της μέσης παροχής	78
Διάγραμμα 4: Μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης παροχής	78
Διάγραμμα 5: Μεταβολή του ετήσιου κέρδους του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων συναρτήσει της μέσης παροχής	79
Διάγραμμα 6: Εκτιμώμενο κέρδος από εφαρμογή της δεύτερης εναλλακτικής προκύπτει πολλαπλάσιο σε σχέση με την εφαρμογή της πρώτης.....	79

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το νερό αποτελεί πάντα πηγή ζωής για τον άνθρωπο και για αυτόν τον λόγο, όλες οι οργανωμένες κοινωνίες αρχικά, εμφανίστηκαν δίπλα σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσα. Όλες οι ζωτικές λειτουργίες εξαρτώνται από το νερό. Το νερό αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα και ζωτικής σημασίας προβλήματα της εποχής μας, καθώς δυστυχώς, βρίσκεται σε ανεπάρκεια. Η ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη. Από το νερό που βρίσκεται στον πλανήτη μας, το 97% βρίσκεται στις θάλασσες και είναι ακατάλληλο για άμεση χρήση, λόγω της περιεκτικότητας του σε αλάτι. Από το υπόλοιπο 3%, ένα μεγάλο ποσοστό βρίσκεται σε μορφή πάγου στις πολικές περιοχές και λιγότερο από το ένα τρίτο βρίσκεται σε λίμνες και ποτάμια και σε υπόγειους υδροφορείς, όχι πάντα εκμεταλλεύσιμοι. Άρα, οι ποσότητες του διαθέσιμου κατάλληλου νερού, που είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, ύδρευση και άλλες χρήσεις, είναι πολύ περιορισμένες και γι' αυτό το λόγο, θεωρείται απαραίτητη η ορθολογική διαχείριση των δικτύων ύδρευσης. Το νερό που προορίζεται για την ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται από λίμνες, ποτάμια, πηγές, πηγάδια, γεωτρήσεις και αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Με τον όρο κατανάλωση νερού, νοείται το τμήμα εκείνο της απόληψης νερού, δηλαδή της ποσότητας του νερού που αφαιρείται από ένα υδάτινο σώμα (π.χ. υπόγειος υδροφόρας, λίμνη κλπ.), το οποίο χάνεται, είτε προς την ατμόσφαιρα με την διεργασία της εξατμισοδιαπνοής, είτε με την αποθήκευση στο σώμα ζωντανών οργανισμών (Ναλμπάντης 2007). Η διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι συνδεδεμένη με την διαχείριση των δικτύων ύδρευσης, κυρίως σε περιοχές που εμφανίζουν πρόβλημα με την επάρκεια του νερού, γιατί η ύδρευση αφορά τις ανθρώπινες ανάγκες. Κάθε δίκτυο ύδρευσης έχει δύο κύριους χρήστες: α) τους καταναλωτές (οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς) και β) το ίδιο το δίκτυο ύδρευσης, διότι οι απώλειες του νερού, αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του εισερχόμενου νερού. Σκοπός των έργων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού, σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα, το οποίο είναι αναγκαίο για την εξυπηρέτηση των αναγκών των πολιτών μιας περιοχής ή μίας εγκατάστασης. Έργα ύδρευσης αποτελούν τα υδροδοτικά έργα, τα δίκτυα διανομής και τα έργα αποχέτευσης. Η κατασκευή δικτύων διανομής υπό πίεση, ξεκίνησε στις μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις, τον 17ο αιώνα, διότι τότε ήταν εφικτή η μαζική

κατασκευή σωλήνων από χάλυβα ή χυτοσίδηρο, υλικά που άντεχαν σε εσωτερικές υδροστατικές πιέσεις.

Το νερό αποτελεί λοιπόν το σημαντικότερο φυσικό αγαθό, το οποίο είναι αναγκαίο για την επιβίωση του ανθρώπου και του πλανήτη μας. Οι λιγοστές πηγές του γλυκού νερού και η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, λόγω της αύξησης του πληθυσμού, αποτελούν δύο από τα κυριότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν από την επιστημονική κοινότητα. Η παροχή νερού σε κάθε γωνιά του πλανήτη γίνεται μέσω των δικτύων ύδρευσης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας συνεισφέρει στον σωστό σχεδιασμό και την σωστή κατασκευή των δικτύων ύδρευσης, έτσι ώστε το κάθε δίκτυο να καλύπτει την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση καλής ποιότητας νερού. Ο περιορισμός των διαθέσιμων υδατικών πόρων επιβάλλει τον σωστό σχεδιασμό, την σωστή προστασία και την σωστή διαχείριση των δικτύων ύδρευσης.

1.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία για το Νερό

Η Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ για τα Νερά, τονίζει ότι για την προστασία των υδατικών πόρων και την αποδοτική τους χρήση απαιτείται η ορθολογική τους διαχείριση. Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα (Water Framework Directive 2000/60/ΕΚ), η οποία αποτελεί μία ολιστική προσέγγιση για τη Διαχείριση των Υδάτων της Ευρώπης, προωθώντας με αυτόν τον τρόπο τη διαμόρφωση μιας μακροπρόθεσμης και ενοποιημένης πολιτικής διαχείρισης υδατικών πόρων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η Οδηγία-Πλαίσιο αποτελεί ένα εργαλείο για τη διαχείριση των υδάτων και τον έλεγχο της ποιότητάς τους, καθώς και για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης και βιώσιμης χρήσης τους (<http://ec.europa.eu/environment/>). Στην Οδηγία τονίζεται ότι «το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης» (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000).

Στόχος της Οδηγίας είναι η αποκατάσταση και διατήρηση της ποιότητας των υδατικών πόρων σε καλό επίπεδο, θεωρώντας κρίσιμη τη συμβολή των πολιτών της ΕΕ. Αποτελεί το πιο σημαντικό νομοθετικό εργαλείο για την προστασία των υδάτων στην ΕΕ, υποχρεώνοντας τα Κράτη Μέλη να επαναφέρουν τους υδατικούς τους πόρους σε καλή κατάσταση (οικολογική / υδρομορφολογική / χημική), ορίζοντας τη Λεκάνη Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) ως την κύρια μονάδα χωρικής διαχείρισης.

Πρωταρχικός στόχος της Οδηγίας είναι η βελτίωση της ποιότητας των υδατικών πόρων της Ευρώπης, ενώ ο έλεγχος της ποσότητας αποτελεί επικουρικό στοιχείο της διαχείρισης. Δεκαπέντε χρόνια μετά την έκδοση της Οδηγίας 2000/60, κλείνει ο πρώτος κύκλος εφαρμογής της, που κατέδειξε –ανάμεσα στα άλλα– ότι, ενώ οι υδατικοί πόροι της Βόρειας Ευρώπης αντιμετωπίζουν ποιοτικά προβλήματα, οι υδατικοί πόροι της Νότιας Ευρώπης αντιμετωπίζουν, επιπλέον, και ποσοτικά προβλήματα. Έτσι, από τα Σχέδια Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής που έχουν κατατεθεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προβλέπεται η θέσπιση και λήψη ποσοτικών μέτρων που θα διασφαλίσουν την καλή ποιότητα των υδατικών πόρων. Καινοτόμα στοιχεία που χρησιμοποιούνται από την Οδηγία-Πλαίσιο είναι η ενεργός συμμετοχή του κοινού στον σχεδιασμό και στη λήψη των αποφάσεων (π.χ. με τη διαβούλευση επί των σχεδίων διαχείρισης), η εισαγωγή οικονομικών εργαλείων (π.χ. ανάκτηση του πλήρους κόστους των υπηρεσιών νερού, συμπεριλαμβανομένου του άμεσου,

του περιβαλλοντικού και του κόστους φυσικού πόρου), ενώ για πρώτη φορά υπάρχει ένα νομοθετικό κείμενο το οποίο περιλαμβάνει όλα τα ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια, τροποποιημένα, μεταβατικά κλπ.). Το άρθρο 9 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ προβλέπει την ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει το άμεσο κόστος, το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος φυσικού πόρου. Οι τρεις συνιστώσες του πλήρους κόστους του νερού είναι δυναμικά μεγέθη και έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ανά εποχή, γεωγραφική περιοχή, πυκνότητα πληθυσμού, οικονομική δραστηριότητα κλπ. (Κανακούδης, 2010). Το άμεσο κόστος περιλαμβάνει όλα τα έξοδα που πραγματοποιεί η εταιρεία ύδρευσης για την απρόσκοπτη παροχή πόσιμου νερού στους καταναλωτές της. Το περιβαλλοντικό κόστος εκφράζει τις ζημίες λόγω κατασκευής υποδομών και αύξησης της χρήσης νερού, αλλά και τις τυχόν ζημίες από την επαναφορά της ποιότητας του χρησιμοποιούμενου νερού στην αρχική του κατάσταση. Τέλος, το κόστος φυσικού πόρου ορίζεται διττά: σε περιοχές που πλήττονται από ξηρασία, το κόστος φυσικού πόρου αποτελεί τα διαφυγόντα κέρδη που υφίστανται άλλες χρήσεις από την παρούσα χρήση νερού, όταν ο ρυθμός υδροληψίας υπερβαίνει τον ρυθμό ανανέωσης των αποθεμάτων του υδατικού πόρου (Wateco, 2002). Σε περιοχές που δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης νερού, το κόστος φυσικού πόρου προκύπτει, όταν το νερό δεν διατίθεται στη βέλτιστη χρήση του, ενώ υπάρχουν άλλες χρήσεις που αποφέρουν μεγαλύτερο κέρδος (Κανακούδης, 2010). Η Οδηγία προβλέπει ακόμη την εφαρμογή τιμολογιακών πολιτικών, ώστε να δημιουργούνται κίνητρα για την αποτελεσματική χρήση των υδατικών πόρων (<http://ec.europa.eu/environment/>), ενώ παράλληλα εφαρμόζεται η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Η ανάπτυξη κοινωνικά δίκαιων τιμολογιακών πολιτικών είναι ένα πολύπλοκο θέμα, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (π.χ. τοπικά χαρακτηριστικά, υδρογεωλογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά, πολιτικό και ρυθμιστικό πλαίσιο, κ.α.). Η εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την κοινοτική Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ έγινε με τον νόμο 3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α/09.12.2003) και το ΠΔ 51/2007 (ΦΕΚ 54 Α/08.03.2007) (<http://wfd.ypeka.gr>). Η εθνική νομοθεσία, εκτός από την ενσωμάτωση των βασικών εννοιών της Οδηγίας για τους υδατικούς πόρους, καθορίζει, παράλληλα, τη συγκρότηση της νέας διοικητικής δομής σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο και τις αρμοδιότητες των επιμέρους φορέων. Σε εθνικό επίπεδο, η Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ) έχει την ευθύνη εφαρμογής της Οδηγίας-Πλαίσιο. Η χώρα χωρίζεται σε 14 Υδατικά Διαμερίσματα, εκ των οποίων τα 5 είναι

διακρατικά με τις γείτονες χώρες Αλβανία, Βουλγαρία, Π.Γ.Δ.Μ, και Τουρκία) (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.1 Τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας (Πηγή: *floods.ypeka.gr*)

Κανόνες χρήσης των υδάτων

Οι χρήσεις υδάτων διακρίνονται σε ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, ενεργειακή χρήση και χρήση για αναψυχή. Η χρήση για ύδρευση έχει προτεραιότητα, ως προς την ποσότητα και την ποιότητα, έναντι κάθε άλλης χρήσης. Για κάθε χρήση εφαρμόζονται οι παρακάτω κανόνες, οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στα Σχέδια Διαχείρισης:

α) Κάθε χρήση πρέπει να αποβλέπει στη βιώσιμη και ισόρροπη ικανοποίηση των αναπτυξιακών αναγκών και να διασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτων, την επάρκεια των αποθεμάτων τους και τη διατήρηση της ποιότητάς τους, ιδιαίτερα δε τη μείωση και την αποτροπή της ρύπανσής τους.

β) Η ικανοποίηση της ζήτησης του νερού γίνεται με βάση τα όρια και τις δυνατότητες των υδατικών αποθεμάτων, λαμβανομένων υπόψη των αναγκών για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων, καθώς και της ισορροπίας που απαιτείται μεταξύ άντλησης και ανατροφοδότησης των υπόγειων υδάτων. Οι ανάγκες των χρήσεων σε νερό ικανοποιούνται κατά το δυνατόν σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού. Κατά τη διαχείριση των υδάτων πρέπει να εξασφαλίζεται η εξοικονόμηση νερού μέσω της χρήσης τεχνικών μεθόδων, οικονομικών κινήτρων και εργαλείων (ΦΕΚ Α' 280/9.12.2003, Άρθρο 10).

Πεδίο εφαρμογής - Ορισμοί

Κρίνεται σκόπιμο σε αυτό το σημείο να παρατεθούν οι ορισμοί που καλύπτουν ένα φάσμα εννοιών για το οποίο γίνεται λόγος στην συνέχεια της εργασίας.

«Επιφανειακά ύδατα» είναι τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα. Στα επιφανειακά ύδατα περιλαμβάνονται και τα χωρικά ύδατα για τη χημική τους κατάσταση. «Υπόγεια ύδατα»: είναι το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος. «Μεταβατικά ύδατα»: είναι συστήματα επιφανειακών υδάτων κοντά σε στόμια εκβολής ποταμών, τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνίασής τους με παράκτια ύδατα, αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκών υδάτων. «Παράκτια ύδατα»: είναι τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων, και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων. «Ιδιαιτέρως τροποποιημένο υδατικό σύστημα»: είναι το σύστημα επιφανειακών υδάτων του οποίου ο χαρακτήρας έχει μεταβληθεί ουσιαστικά, εξαιτίας αλλοιώσεων στη φύση του από ανθρώπινες δραστηριότητες. «Υδροφόρος ορίζοντας»: είναι υπόγειο στρώμα ή στρώματα βράχων ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές, ώστε να επιτρέπουν είτε σημαντική ροή υπόγειων υδάτων, είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπόγειων υδάτων. «Σύστημα υπόγειων υδάτων»: είναι ο συγκεκριμένος όγκος υπόγειων υδάτων εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων οριζόντων. (ΦΕΚ Α' 280/9.12.2003, Άρθρο 2). Η Ελλάδα διαθέτει, συνολικά, επαρκείς επιφανειακούς και

υπόγειους υδατικούς πόρους, αλλά διάφοροι λόγοι μειώνουν σημαντικά την πραγματικά διαθέσιμη ποσότητά τους και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους (Sofios, Arabatzis, & Baltas, 2008). Οι κυριότεροι φυσικοί λόγοι που προκαλούν προβλήματα στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων της χώρας είναι:

- η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στον χώρο και στον χρόνο,
- η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στον χώρο και τον χρόνο, σε αναντιστοιχία με την κατανομή της προσφοράς,
- η γεωμορφολογία της χώρας,
- η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη,
- το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών,
- τα πολλά άνυδρα, ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους, νησιά της χώρας.

Το Νερό Ανθρώπινης Κατανάλωσης είναι το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται από λίμνες, ποτάμια, πηγάδια, γεωτρήσεις, πηγές και αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού Ευρωπαϊκών κρατών χρησιμοποιεί το υπόγειο νερό ως πόσιμο (Νορβηγία: 15%, Μεγάλη Βρετανία:30-35%, Γαλλία, Σουηδία και Φινλανδία: 50%, Ολλανδία και Γερμανία: 50-70%, Ιταλία, Ισλανδία, Αυστρία, Δανία και Λιθουανία: σχεδόν 90%) (Τσακίρης και Αλεξάκης, 2010). Στην Ελλάδα το πόσιμο νερό προέρχεται και από επιφανειακά και από υπόγεια ύδατα, ενώ σε πολλά νησιά λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

Η διαχείριση των υδατικών πόρων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη διαχείριση των δικτύων ύδρευσης και ιδιαίτερα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης νερού. Από τις πλέον σημαντικές χρήσεις του νερού είναι η ύδρευση. Παρόλο που η αναλογία χρήσης νερού άρδευσης προς την ύδρευση υπερέχει κατά πολύ (στην Ελλάδα η άρδευση αποτελεί το 86% της χρήσης νερού, ενώ η ύδρευση μόλις το 10%), η ύδρευση αφορά τις ανθρώπινες ανάγκες και θεωρείται εξαιρετικά σημαντική. Είναι γνωστό ότι κάθε δίκτυο ύδρευσης έχει δύο κύριους χρήστες: (α) τους καταναλωτές διαφόρων ειδών (οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς) και (β) το ίδιο το δίκτυο ύδρευσης, αφού οι απώλειες νερού σε αυτό αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του εισερχόμενου νερού. Γι' αυτόν τον λόγο, στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, επιβάλλεται σήμερα η ορθολογική διαχείριση των δικτύων ύδρευσης. Η ορθολογική διαχείριση των αστικών δικτύων

οδηγεί στην εξοικονόμηση νερού που αποτελεί έμμεση διαχείριση της ζήτησης νερού και υποβοηθά την ορθολογική Διαχείριση των Υδατικών Πόρων.



Εικόνα 1.2 Ο υδρολογικός κύκλος

Ποιότητα Νερού

Η κατάσταση του δικτύου ύδρευσης επηρεάζει και επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού και αντίστροφα. Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι από τα σημαντικότερα καταναλωτικά τρόφιμα και για τον λόγο αυτό πρέπει να είναι αυστηρά ελεγχόμενο όσον αφορά την ποιότητά του. Η προστασία της ποιότητας του νερού αφορά τη δημόσια υγεία. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83/ΕΚ καθορίζει τις ανώτατες παραμετρικές τιμές των χαρακτηριστικών του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση. Στο πλαίσιο της Οδηγίας, εντάσσονται το νερό του δικτύου ύδρευσης και το επιτραπέζιο νερό. Η εναρμόνιση της Οδηγίας στην Ελλάδα έγινε με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892Β/11-7-2001). Παράλληλα ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει θεσπίσει οριακές τιμές για τις κυριότερες ποιοτικές παραμέτρους. Τα χαρακτηριστικά του νερού ταξινομούνται σε (Τσακίρης και Αλεξάκης, 2010):

- οργανοληπτικές παραμέτρους: χρώμα, θολερότητα, γεύση, οσμή

- χημικές παραμέτρους: θερμοκρασία, ενεργός οξύτητα (pH), ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλκαλικότητα, σκληρότητα, στερεά, ανόργανες παράμετροι (άζωτο ,αργίλιο, αρσενικό κλπ.) και οργανικές παράμετροι (διοξίνες, υδρογονάνθρακες, χλωροφαινόλες, φαινόλες, κλπ.)
- μικροβιολογικές παραμέτρους: ιοί, βακτήρια, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα.

Για τον έλεγχο του νερού η νομοθεσία καθορίζει τη συχνότητα και τη μεθοδολογία της δειγματοληψίας, καθώς και την παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων στην πηγή και στο δίκτυο ύδρευσης (δοκιμαστική, ελεγκτική). Πολλά από τα χαρακτηριστικά του νερού οφείλονται στην πηγή προέλευσής του αλλά μπορεί να προέρχονται από τη διέλευση του νερού στο δίκτυο (π.χ. σίδηρος από τα τοιχώματα) ή από την επεξεργασία του νερού λόγω προσθήκης χημικών (π.χ. υπολειμματικό χλώριο, τριαλογονομεθάνια κλπ.). Τα παράπονα των καταναλωτών έχουν μεγάλη σημασία, καθώς αποτελούν πιθανές ενδείξεις σχετικά με προβλήματα ποιότητας του νερού. Η ποιότητα του νερού επιδεινώνεται με τον χρόνο παροχής, κυρίως εξαιτίας της ρύπανσης από την εσωτερική επιφάνεια των αγωγών. Στις επιφάνειες αυτές υπάρχουν ιζήματα που έχουν συσσωρευθεί λόγω συνθηκών χαμηλής παροχής, υπάρχουν προϊόντα διάβρωσης και βιομεμβράνες (βιοφιλμ) που αναπτύσσονται από την παρουσία μικροοργανισμών και βιοδιασπώμενων οργανικών ουσιών. Υπό κανονικές συνθήκες, η αυξανόμενη ηλικία του νερού οδηγεί στη μείωση των υπολειμμάτων των απολυμαντικών, στην αύξηση των ενώσεων τριαλογονομεθάνιων και στη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (Savic & Banyard, 2011). Προβλήματα ποιότητας νερού παρουσιάζονται και στις περιπτώσεις διακοπτόμενης παροχής νερού στα δίκτυα ύδρευσης. Το πόσιμο νερό πρέπει τουλάχιστον να έχει τις εξής βασικές ιδιότητες: Να είναι άοσμο, άχρωμο, καθαρό και δροσερό. Πρέπει να είναι απαλλαγμένο από παθογόνα μικρόβια που προξενούν ενδημικές ή επιδημικές ασθένειες. Όταν βρεθούν στην ανάλυση τέτοια μικρόβια όπως τα βακτηρίδια Coli, σημαίνει ότι το νερό της ύδρευσης έρχεται σε επαφή με βόθρους ή υπονόμους (Ρέχα και Καραγεωργίου), (Χριστοδουλάκης, 1995). Στη χώρα μας ο χαρακτηρισμός της ποιότητας των πόσιμων υδάτων καθορίζεται με τη Διυπουργική Απόφαση, με αριθμό Α5/288/23-1-86(ΦΕΚ 53/Β/20-2-1986) για την ποιότητα του πόσιμου νερού σε συμμόρφωση προς την Οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, με αριθμό 80/778 της 15/7/80. Με την απόφαση αυτή καθορίζονται οι επιτρεπόμενες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών, που χαρακτηρίζουν το νερό ως κατάλληλο για

πόση. Οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών, του πόσιμου νερού πρέπει να είναι κατώτερες ή ίσες με τις τιμές, που προσδιορίζονται με τον τίτλο "ενδεικτικό επίπεδο". Παρεκκλίσεις από τις τιμές αυτές επιτρέπονται, προκειμένου να αντιμετωπιστούν :

- συνθήκες που έχουν σχέση με τη φύση και τη σύσταση του εδάφους στην περιοχή, η οποία τροφοδοτεί την υπό εξέταση πηγή
- συνθήκες που έχουν σχέση με εξαιρετικά μετεωρολογικά φαινόμενα ή πρόσκαιρες τεχνικές δυσχέρειες.

Οι παρεκκλίσεις δεν αφορούν σε καμιά περίπτωση, τους τοξικούς ή μικροβιολογικούς παράγοντες, και σε κάθε περίπτωση, πρέπει να αποκλείουν τους κινδύνους για τη Δημόσια Υγεία. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, σύμφωνα με την απόφαση, που προαναφέρθηκε, ταξινομούνται σε 6 κατηγορίες :

- Οργανοληπτικές παράμετροι
- Φυσικοχημικές παράμετροι
- Παράμετροι που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες
- Παράμετροι που αφορούν τοξικές ουσίες
- Μικροβιολογικές παράμετροι
- Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση για το πόσιμο νερό που έχει υποστεί κατεργασία αποσκλήρυνσης

1.3 Ελληνικοί Κανονισμοί Δικτύων Ύδρευσης

Διάταξη εσωτερικού δικτύου ύδρευσης

Η διάταξη των σωληνώσεων του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης γίνεται στο σχήμα εσχάρας, στις μορφές που προβλέπονται και περιλαμβάνουν ολόκληρη την κατοικημένη περιοχή του Δήμου ή της Κοινότητας, λαμβανομένου και της περιοχής επέκτασης του σχεδίου πόλεως για το χρονικό διάστημα που μελετώνται τα έργα. Το δίκτυο επίσης μπορεί να αναπτύσσεται σε διάφορες στάθμες. Το σύστημα διανομής πρέπει να προβλέπει τον έλεγχο για τη ρύθμιση της ροής του νερού και τη δυνατότητα απομόνωσης τμημάτων του, στην περίπτωση που ένα τμήμα του είναι ανάγκη να απομονωθεί λόγω βλάβης. Αυτό γίνεται μέσω βανών (δικλείδων ελέγχου) που είναι τοποθετημένες στους κόμβους του δικτύου ή και στο ενδιάμεσο διακλάδωσης αν η σωλήνωση έχει μεγάλο μήκος. Συνιστάται οι σωλήνες των εσωτερικών δικτύων ύδρευσης, να ενώνονται σε αποστάσεις που είναι μεγαλύτερες από 360 m. Οι βάνες ρύθμισης ή διακοπής της παροχής τοποθετούνται έτσι ώστε να μη εκκινούν σε καμία περίπτωση περισσότερη αγωγοί από δύο χωρίς βάνες, χωρίς να αποκλείεται βέβαια και η τοποθέτηση βανών προς την κατεύθυνση όλων των αγωγών. Η διάταξη των βανών κατά τα ανωτέρω εξασφαλίζει τη συνεχή τροφοδότηση του δικτύου διανομής, εκτός δύο τετραγώνων στην περιοχή της βλάβης. Κατά την εκλογή της θέσης μίας βάνας σε ένα κόμβο με δυο ή περισσότερους σωλήνες προτιμάται η τοποθέτησή της στο σωλήνα με τη μικρότερη διάμετρο. Δε πρέπει να αφήνεται μήκος σωλήνωσης μεγαλύτερο από 250 m χωρίς έλεγχο με βάνα. Στις περιοχές πολύ πυκνής οίκησης (εμπορικός τομέας) το μήκος χωρίς βάνα ελαττώνεται σε 150 m. Η διάταξη της τοποθέτησης των σωληνωτών αγωγών ύδρευσης μπορεί να γίνει επιλεκτικά με τους κατωτέρω τρόπους :

- Τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης προς τη μια μόνο πλευρά των δρόμων, όπου επιλέγονται οι βόρειες και ανατολικές άκρες των οδών (εκτός κι αν υπερισχύει κατά πολύ η ζήτηση στη μία μεριά), για να επιτυγχάνεται η προστασία από τον παγετό.
- Τοποθέτηση των αγωγών και προς τις δυο μεριές, που ενδείκνυται να γίνεται στους ασφαλτοστρωμένους δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας και πλάτους πάνω από 10 m. Από τους αγωγούς ο ένας μπορεί να υπολογιστεί για την κατανάλωση νερού και την παροχή πυρκαγιάς, χαρακτηριζόμενος

σαν κεντρικός και ο άλλος που τοποθετείται στην άλλη πλευρά, υπολογίζεται μόνο για την κατανάλωση νερού.

Κανένας αγωγός δε πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 63 mm (εξωτερική διάμετρος).

Στοιχεία βάσης υδραυλικών υπολογισμών

Για την εύρεση των διαμέτρων των αγωγών των εσωτερικών δικτύων ύδρευσης, που είναι αναγκαίες για τη μεταφορά της απαιτούμενης παροχής, σε κάθε περιοχή του οικισμού που θα υδρευτεί, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή ορισμένων υδραυλικών υπολογισμών. Οι υδραυλικοί υπολογισμοί μπορούν να αφορούν την κατασκευή ενός νέου δικτύου, όπου είναι απαραίτητη η σχεδίαση της κάτοψης του ρυμοτομικού σχεδίου της περιοχής (σε κλίμακα ανάλογη της έκθεσης), μετά των υψομέτρων των κόμβων, στις διασταυρώσεις των οδών των οικοδομικών τετραγώνων. Μπορεί να αφορούν επίσης, την επέκταση υφιστάμενου εσωτερικού υδραγωγείου προς το νέο οικισμό ή και την αλλαγή διαμέτρων εσωτερικών αγωγών, λόγω σημαντικής μεταβολής της κατανάλωσης, μη δυναμένης να καλυφτεί δια των υφισταμένων διαμέτρων, π.χ. αύξηση της πυκνότητας οίκησης μιας περιοχής λόγω αλλαγής των όρων δόμησης και της κατασκευής πολυώροφων κτιρίων. Πριν από την έναρξη των υπολογισμών και αφού χαραχθεί το δίκτυο των αγωγών, γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις για την απλούστευση των υπολογισμών :

- Επισημαίνονται τα δυσμενέστερα τοπογραφικά ακραία σημεία του δικτύου και προσδιορίζεται με προσέγγιση η υψομετρική διαφορά, καθώς και τη συντομότερη απόσταση από τη δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού.
- Υπολογίζεται η μέση κλίση του εδάφους
- Εκτιμάται η μεταβολή τη διακινούμενης παροχής μεταξύ δύο ακραίων τιμών (μεγίστης και ελαχίστης) και προσδιορίζεται η διακύμανση της επιτρεπόμενης κλίσης της πιεζομετρικής γραμμής, ώστε να υπάρχει το ελάχιστο διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο, 10 – 15 m στους αγροτικούς οικισμούς, 20 – 25 m στις μικρές πόλεις και 25 – 30 m στις μεγαλύτερες. Γενικά το πιεζομετρικό ύψος σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου εξαρτάται από τον αριθμό των ορόφων των κτιρίων.

- Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής επιδιώκεται να κυμαίνεται από 4 ‰–6 ‰ σε επίπεδα εδάφη, ενώ σε επικλινή εδάφη μπορεί να φτάνει και το 8‰
- Η χάραξη των πιεζομετρικών καμπυλών σε ένα δίκτυο ύδρευσης δίνει την ευχέρεια για παρατηρήσεις σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου, π.χ. η μορφή των πιεζομετρικών καμπυλών μπορεί να δείξει τη σωστή ή όχι επιλογή των διαμέτρων των αγωγών και της κατανομής τους στο δίκτυο.
- Για μεγαλύτερη ακρίβεια στο σχεδιασμό των δικτύων με πολλές διακλαδώσεις μπορεί να εξεταστεί η κατανομή της παροχής σε κάθε αγωγό.
- Νόμος της συνέχειας : Σε ένα κόμβο το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών περιλαμβανομένης και της εκροής ισούται με τα μηδέν. Αυτό εκφράζεται με την εξίσωση $\sum Q_i = 0$, όπου Q_i η παροχή στο τμήμα του αγωγού i .
- Νόμος διατήρησης της ενέργειας : το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών σε ένα κύκλωμα του δικτύου (βρόχος) είναι ίσο με το μηδέν, αυτό εκφράζεται με την εξίσωση $\sum h_f i = 0$, όπου $h_f i$ η απώλεια φορτίου κατά μήκος του αγωγού i .

1.4 Αντικείμενο της Μελέτης

Το Αντικείμενο της Μελέτης αφορά το σχεδιασμό νέου δικτύου ύδρευσης στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης στα χωριά Φράστα και Κτιστάδες του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων με απώτερο στόχο την ανακαίνιση και εκσυγχρονισμό του υφιστάμενου εσωτερικού δικτύου ύδρευσης με αντικαταστάσεις παλαιών αγωγών και τοπικές επεκτάσεις του δικτύου για την πλήρη κάλυψη της υδροδότησης των δύο αυτών χωριών του Δήμου. Το έργο αυτό είναι άμεσα συνυφασμένο με επιλογή νέων αγωγών κατάλληλης διαμέτρου μετά από βελτιστοποίηση, την κατασκευή νέων δεξαμενών νερού που θα πλαισιώνουν τις ήδη υπάρχουσες, την τοποθέτηση νέων διατάξεων εκκενωτών, την τοποθέτηση αεραξαγωγών σε διάφορα σημεία του δικτύου, την τοποθέτηση πυροσβεστικών κρουνών, τη διακριτοποίηση του δικτύου σε ξεχωριστά τμήματα με την τοποθέτηση δικλίδων απομόνωσης σε επιλεγμένους κόμβους ώστε το νέο δίκτυο να καλύψει τις ανάγκες υδροδότησης της επόμενης 40ετίας.

Επιπλέον η παρούσα εργασία ασχολείται με το σχεδιασμό νέου εξωτερικού υδραγωγείου στην περιοχή της πηγής «Κωστηλάτα» κοντά στα Θεοδώριανα στο οποίο μέσω γεωτεχνικών μεθόδων διάτρησης επιδιώκεται να παρακαμφθεί ο αυχένας που υπάρχει στην περιοχή και επομένως το εξωτερικό υδραγωγείο που χρησιμοποιεί αντλιοστάσιο, να χρησιμοποιεί πλέον αγωγούς βαρύτητας. Εξετάζεται ακόμα η κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο πέρας του εξωτερικού υδραγωγείου ώστε να γίνει εκμετάλλευση της περίσσειας του νερού στην περιοχή όπως και η προστασία των υφιστάμενων δεξαμενών της περιοχής από διάβρωση του οπλισμού, διαρροές και ρηγματώσεις.

Στόχος λοιπόν της ομάδας μελέτης αποτελεί η διαμόρφωση ενός οικονομικά βιώσιμου και τεχνικά τεκμηριωμένου πλάνου για την υδροδότηση δύο χωριών του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων καθώς και για την κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού έργου στην περιοχή της πηγής «Κωστηλάτα» εναρμονισμένο με τις πλέον σύγχρονες αντιλήψεις ως προς την σχεδίαση υδροδοτικών έργων, την αειφόρο ανάπτυξη αλλά και με τις κοινωνικές ανάγκες και τα πολιτισμικά στοιχεία της περιοχής μελέτης.

1.5 Δομή Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από εννιά (9) κεφάλαια τα οποία αντικατοπτρίζουν πλήρως τα αντικείμενα μελέτης με τα οποία ασχολήθηκε η ομάδα.

Στο 1^ο Κεφάλαιο εισάγονται οι έννοιες της σημαντικότητας του νερού διαχρονικά, περιγράφονται η Ευρωπαϊκή Οδηγία για το νερό η οποία εφαρμόζεται στην Ελλάδα και οι κανονισμοί δικτύων ύδρευσης σε εθνικό επίπεδο σύμφωνα με τις σημερινές συνθήκες. Τέλος αναλύονται περιληπτικά το Αντικείμενο Μελέτης όπως και ο τρόπος παρουσίασης της Εργασίας.

Στο 2^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης, και αναλύονται τα γεωγραφικά – διοικητικά της όρια, το υδάτινο δυναμικό, οι χρήσεις γης και τα δημογραφικά, ιστορικά, πολιτισμικά, κοινωνικά, φυσικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της.

Στο 3^ο Κεφάλαιο εισάγεται η έννοια και η δομή του δικτύου ύδρευσης, παρουσιάζονται τα είδη των δικτύων ύδρευσης, οι λειτουργικές τους απαιτήσεις, τα προβλήματα των δικτύων ύδρευσης, τα υλικά κατασκευής των αγωγών και περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού με τις παραμέτρους που απαιτούνται. Τέλος γίνεται ανάλυση των κλειστών αγωγών υπό πίεση βαρύτητας.

Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό επίλυσης υδρευτικών δικτύων Eranet και συγκεκριμένα πως γίνεται η υδραυλική μοντελοποίηση μέσω Eranet, η διαδικασία χρησιμοποίησης του λογισμικού και οι εφαρμογές του Eranet. Ακόμη περιγράφεται η μεθοδολογία επίλυσης δικτύων στο Eranet.

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η μοντελοποίηση των νέων δικτύων διανομής των οικισμών Φράστα και Κτιστάδες και συγκεκριμένα τα δεδομένα των περιοχών δηλαδή η δημογραφική τους κατάσταση, τα Πολεοδομικά Δεδομένα και οι υφιστάμενες υδατικές δεσμεύσεις και δυσχέρειες. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή του νέου δικτύου των περιοχών μελέτης με τα χαρακτηριστικά των κόμβων (υψόμετρο, στατική πίεση, κρουνοί και σπίτια ανά κόμβο), των αγωγών (μήκος, ονομαστική διάμετρος) και σχηματική απεικόνιση των νέων δικτύων στο Google Earth και στο Eranet. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υδραυλικών επιλύσεων του δικτύου με βάση το λογισμικό Eranet.

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη του εξωτερικού υδραγωγείου και συγκεκριμένα το παράδειγμα του Ευπαλίνειου ορύγματος που αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων, η σκοπιμότητα του έργου,

η ανάλυση της περιοχής μελέτης ως προς τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της και η μηκοτομή της όδευσης. Επιπρόσθετα γίνεται ανάλυση των υδραυλικών υπολογισμών και μία πρόχειρη εκτίμηση κόστους του εξωτερικού υδραγωγείου.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται διερεύνηση κατάλληλης μεθόδου διάτρησης του αυχένα με σκοπό την αποφυγή της χρήσης αντλιών. Συγκεκριμένα εξετάζονται ενδελεχώς μέθοδος Microtunneling που αποτελεί υποκατηγορία της γενικότερης μεθόδου του PipeJacking και η μέθοδος του Horizontal Directional Drilling. Παρουσιάζονται οι δυνατότητες τους, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους καθώς και τα κριτήρια επιλογής της μεθόδου που θα εφαρμοστεί στην περιοχή μελέτης.

Στο 8^ο Κεφάλαιο επισημαίνονται οι έννοιες της Υδραυλικής – Υδροηλεκτρικής ενέργειας, η συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, τα Υδροηλεκτρικά Έργα της Δ.Ε.Η. που είναι σε λειτουργία και η Ελληνική Νομοθεσία για τα Μ.Υ.Η.Ε. . Ακόμη γίνεται αναφορά στις συνιστώσες ενός Μ.Υ.Η.Ε. καθώς και στην πρόταση εγκατάστασης Μ.Υ.Η.Ε. στην περιοχή Κορακάδα – Αθαμάνιο με συνοδευτική οικονομική ανάλυση και εκτίμηση χρηματοροών.

Στο 9^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα προβλήματα των δεξαμενών του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων και των μηχανισμών προσωρινής αποθήκευσης του νερού όπως και οι τρόποι βέλτιστης αντιμετώπισης αυτών.

Στο Παράρτημα απεικονίζονται κάποια σχέδια από το φρεάτιο αεραγωγού, από το φρεάτιο μειωτή πίεσης και από το φρεάτιο διακλάδωσης (εκκένωσης).

2. Γενικά Χαρακτηριστικά Τζουμέρκων

2.1 Καθορισμός και Αναγνώριση Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή των Τζουμέρκων βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας (Χάρτης 1) και ανήκει στην περιφέρεια Ηπείρου (Χάρτης 2), μία περιφέρεια, η οποία σύμφωνα με τον ΟΟΣΑ αποτελεί την φτωχότερη περιφέρεια της Ελλάδας και ταυτόχρονα εντάσσεται στις πιο οικονομικές αδύναμες περιφέρειες της Ευρωπαϊκή Ένωσης.

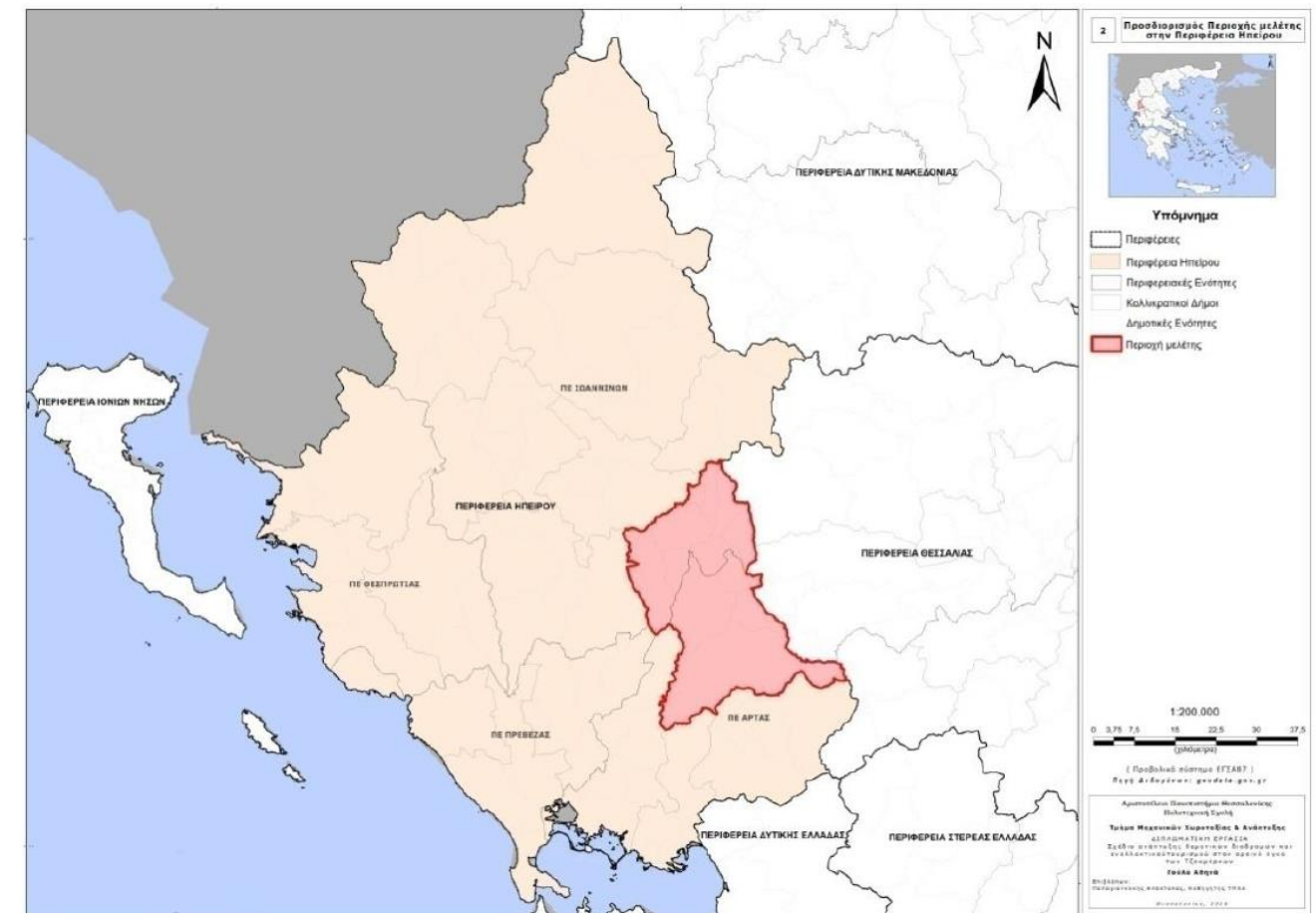


Χάρτης 1: Γεωγραφικός Χάρτης Ελλάδας

Τα Τζουμέρκα αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους ορεινούς όγκους της Ελλάδας, καταλαμβάνοντας το δυτικό τμήμα της οροσειράς της Πίνδου, με κορυφές που ξεπερνούν τα 2000 μέτρα, σχηματίζοντας ένα φυσικό σύνορο της περιφέρειας Ηπείρου με την περιφέρεια Θεσσαλίας. Έχουν χαρακτηριστεί ως μία από τις σημαντικές περιοχές για πουλιά της Ελλάδας και έχουν ανακηρυχθεί σε εθνικό πάρκο (Εθνικό Πάρκο Τζουμέρκων, Περιστερίου και Χαράδρας Αράχθου).

Από την περιοχή διέρχονται δύο σημαντικοί για την περιοχή και τη χώρα ποταμοί ο Άραχθος και ο Αχελώος. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η χαράδρα που έχει

δημιουργήσει ο ποταμός Άραχθος στα βόρεια της περιοχής. Οι περισσότεροι από τους οικισμούς της περιοχής είναι ορεινοί και ημιορεινοί, χτισμένοι σε υψόμετρο που φτάνει τα 1.200μ. Το τοπίο των Τζουμέρκων συνδυάζει με μοναδικό τρόπο χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος (βλάστηση, χλωρίδα, πανίδα, φυσικό τοπίο) και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (πολιτιστικά μνημεία, ιστορικά στοιχεία, παραδοσιακοί οικισμοί και οικισμοί με παραδοσιακά χαρακτηριστικά).



Χάρτης 2: Περιφέρεια Ηπείρου - Τζουμέρκα

2.2 Διοικητικά Χαρακτηριστικά και σχέση με ευρύτερη περιοχή

Ο Νόμος υπ' αριθμό 3852/2010, με τίτλο: «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης», εντάσσει τα Τζουμέρκα σε δύο Δήμους, εκ των οποίων ο ένας βρίσκεται στον Νομό Άρτας και ο άλλος στον Νομό Ιωαννίνων. Πιο συγκεκριμένα, στο Νομό Ιωαννίνων συνιστάται ο Δήμος Βορείων Τζουμέρκων με έδρα τα Πράμαντα, κατέχοντας 23 χωριά, 800.000 στρέμματα και αποτελούμενος από τις Διοικητικές Ενότητες:

- Πραμάντων
- Κατσαναχωρίων
- Τζουμέρκων

Και τις Κοινότητες:

- Συρράκου
- Καλαρρυτών
- Ματσουκίου
- Βαδυπέδου

Κάτι αντίστοιχο έλαβε χώρα και για το τμήμα που ανήκει διοικητικά στο Νομό Άρτας, όπου συνιστάται ο Δήμος Κεντρικών Τζουμέρκων με έδρα το Βουργαρέλι, κατέχοντας 22 χωριά, 950.000 στρέμματα και αποτελούμενος από τις Διοικητικές Ενότητες:

- Αθαμανίας
- Αγνάντων

Και τις Κοινότητες:

- Θεοδώριανων
- Μελισσουργών

Ανάμεσά τους δημιουργούνται μικρά και μεγάλα οροπέδια, με μεγαλύτερο αυτό της Κωστηλάτας (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Οροπέδιο της Κωστηλάτας

Αποτέλεσμα του ανάγλυφου, των σημαντικών υψομετρικών διαφορών, που κυμαίνονται από 144 έως 2.429 μ. και της πληθώρας ρεμάτων, είναι η διαμόρφωση ποικιλίας βιοτόπων. Αυτοί συνθέτουν ένα πολυποίκιλο σύνολο οικοσυστημάτων. Στα χερσαία οικοσυστήματα της περιοχής έχουν καταγραφεί 17 τύποι οικοτόπων και 30 τύποι υδάτινων οικοτόπων. Είναι χαρακτηριστικό ότι στη περιοχή των Τζουμέρκων έχουν εντοπιστεί 16 κύριοι τόποι υδάτινων και 15 χερσαίων οικοσυστημάτων (Τζουμερκιώτικα Χρονικά, 2011).

2.3 Υδάτινο Δυναμικό

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τρία σημαντικά ποτάμια, πολυάριθμα ορεινά ρυάκια, ορμητικούς χείμαρρους και πηγές. Υπάρχουν επίσης, μικροί καταρράκτες με σημαντικότερους αυτούς που βρίσκονται κοντά στους οικισμούς Θεοδώριανα και Καταρράκτη. Τα σημαντικότερα ποτάμια της περιοχής είναι:

- Ο Άραχθος
- Ο Καλαρρίτικος

- Ο Αχελώος
- Η τεχνητή λίμνη Πουρναρίου

Αναλυτικότερα, τον Δήμο Βορείων Τζουμέρκων, διαρρέει, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ο Καλαρρίτικος ποταμός, στον οποίο εισέρχεται ο παραπόταμος Ματσουκιώτικος. Αυτοί οι δύο μαζί συναντούν τον Άραχθο και εκβάλλουν στην τεχνητή λίμνη Πουρναρίου, διασχίζοντας το Δήμο Κεντρικών Τζουμέρκων στο δυτικό όριο του με κατεύθυνση από τα βόρεια προς τα νότια, ενώ ο Αχελώος διέρχεται από τα ανατολικά σε ένα τμήμα των συνόρων της ΠΕ Άρτας, Τρικάλων και Καρδίτσας.

2.4 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά

Με βάση τους ορισμούς της ΕΛΣΤΑΤ για τον πληθυσμό, στην περιοχή μελέτης, την περίοδο 2001, 12.223 άτομα δηλώνουν τα Τζουμέρκα ως τόπο μόνιμης κατοικίας, ενώ κατά την απογραφή του 2011, ο μόνιμος πληθυσμός ήταν 11.892. Στον Δ. Βορείων Τζουμέρκων με την απογραφή του 2011 ήταν 5.714 και για τον Δ. Κεντρικών Τζουμέρκων 6.178. Σε σύγκριση με την απογραφή το 2001 παρουσιάζεται αύξηση στον Δ. Βορείων Τζουμέρκων κατά 1.353 κατοίκους, ενώ μείωση υπάρχει στον Δ. Κεντρικών Τζουμέρκων κατά 1.684 κατοίκους. Νεότερα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για την απογραφή 2011 όσο αφορά τον μόνιμο πληθυσμό, μαζί με τα αντίστοιχα των απογραφών 1991 και 2001, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).

Γεωγραφικό επίπεδο	Μόνιμος Πληθυσμός		
	1991	2001	2011
Ελλάδα	10.223.392	10.934.097	10.815.197
Ήπειρος	327.300	336.392	336.856
ΠΕ Ιωαννίνων	152.803	161.027	167.901
Δ. Βορείων Τζουμέρκων	4.645	4.361	5.714
ΔΕ Βαθυπέδου	67	31	86
ΔΕ Καλαρρυτιών	100	89	192
ΔΕ Κατσαναχωρίων	2.047	2.079	2.181
ΔΕ Ματσουκίου	176	167	455
ΔΕ Πραμάντων	1.314	1.302	1.774
ΔΕ Συρράκου	59	45	270
ΠΕ Άρτας	75.609	73.620	67.877
Δ. Κεντρικών Τζουμέρκων	8.989	7.862	6.178
ΔΕ Αγνάντων	3.239	2.800	1.800
ΔΕ Αθαμανίας	5.024	4.678	3.786
ΔΕ Θεοδώριανων	159	263	173
ΔΕ Μελισσουργών	537	121	419
Σύνολο Περιοχής Μελέτης	13.634	12.223	11.892

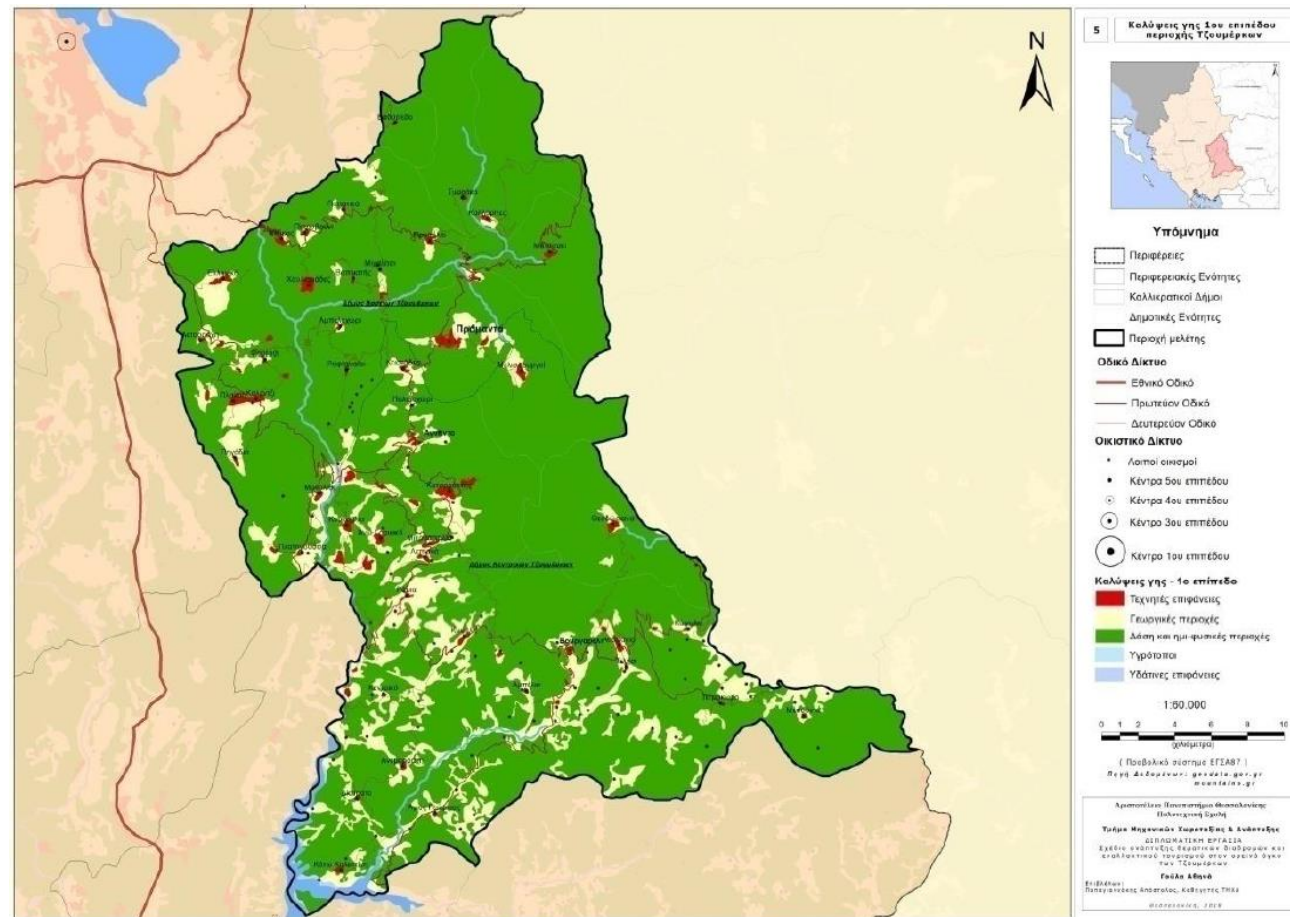
Πίνακας 1: Δημογραφικά Χαρακτηριστικά

2.5 Χρήσεις Γης

Τα Τζουμέρκα χωρίζονται με βάση τα στοιχεία της ΕΣΥΕ σε τέσσερις βασικές κατηγορίες χρήσεων γης.

- Γεωργικές περιοχές: που αποτελούνται από αρόσιμη γη, μόνιμες καλλιέργειες, βοσκοτόπους και άλλες ετερογενείς γεωργικές περιοχές.
- Δάση και ημι-φυσικές εκτάσεις: που αποτελούνται από δάση, δασώσεις – θαμνώδεις εκτάσεις, θαμνώδη βλάστηση και εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση.
- Εκτάσεις που καλύπτονται από νερό (υγρότοποι, υδάτινες επιφάνειες): που αποτελούνται από χερσαία ύδατα, ή εσωτερικές υδάτινες ζώνες
- Τεχνητές περιοχές: που αποτελούνται από αστική δόμηση, εμπορικές και βιομηχανικές ζώνες, ορυχεία και χώρους απόρριψης απορριμμάτων, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου, και χώρους πολιτισμού και αθλητισμού.

Οι βασικές κατηγορίες αυτές ταυτίζονται με το 1ο επίπεδο καλύψεων γης (Corine 2012) που παρουσιάζονται στον Χάρτη 3, δημιουργώντας τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης. Η εκτενέστερη χρήση γης είναι τα δάση και οι ημι-φυσικές εκτάσεις, δεδομένο αποτέλεσμα λόγω του ορεινού όγκου των Τζουμέρκων, ενώ οι τεχνητές επιφάνειες περιορίζονται στους υφιστάμενους οικισμούς.



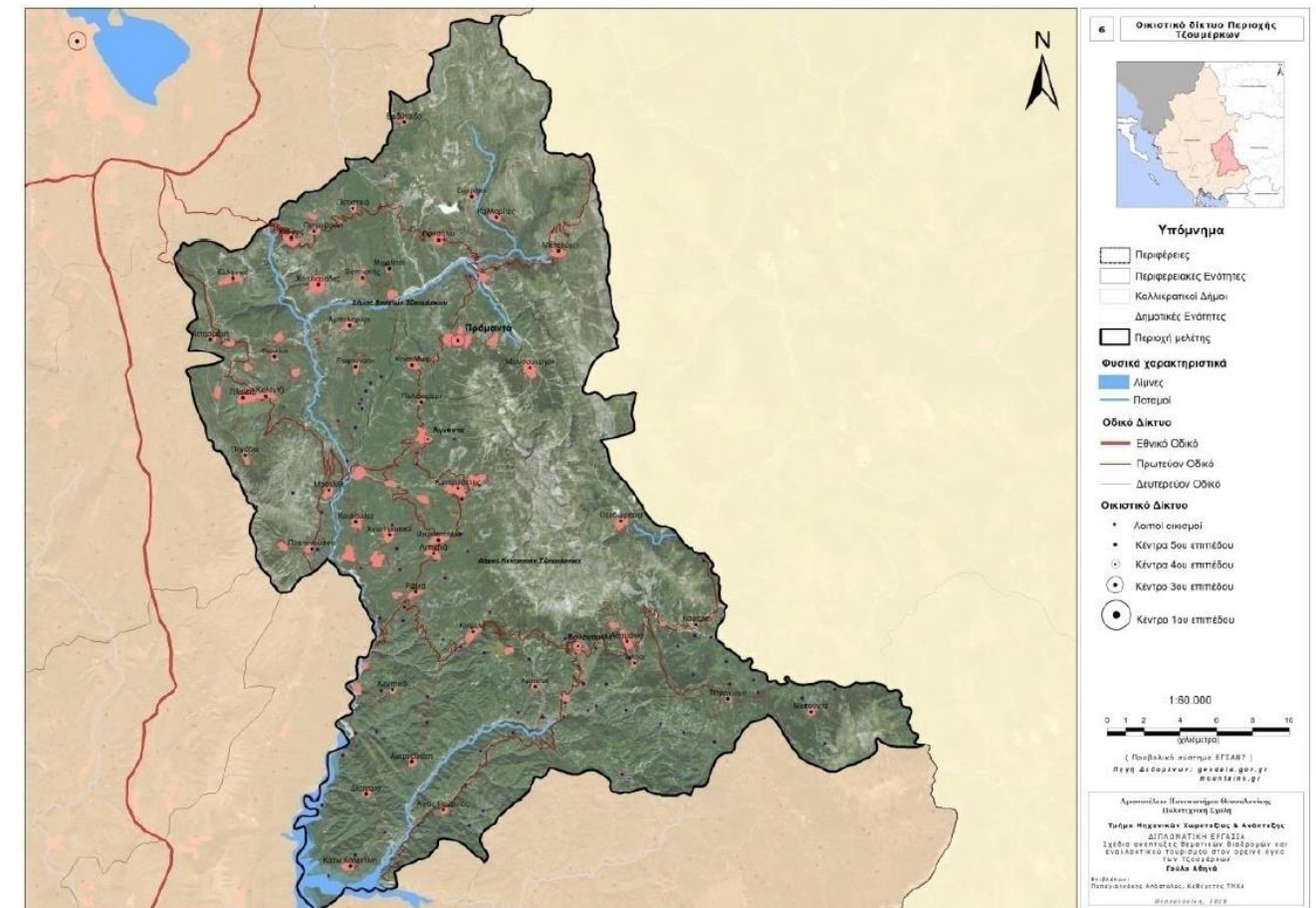
Χάρτης 3: Κάλυψη Γης (Corine, 2012) Περιοχής Τζουμέρκων

2.6 Δομημένο Περιβάλλον - Οικισμοί

Σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση του Προγράμματος Καλλικράτη (2010), η περιοχή μελέτης αποτελείται από 141 οικισμούς (Χάρτης 4), ενώ όσον αφορά το οικιστικό δίκτυο σύμφωνα με το ΠΠΧΣΑΑ της Περιφέρειας Ηπείρου και το Χωροταξικό Σχέδιο, ιεραρχείται ως εξής:

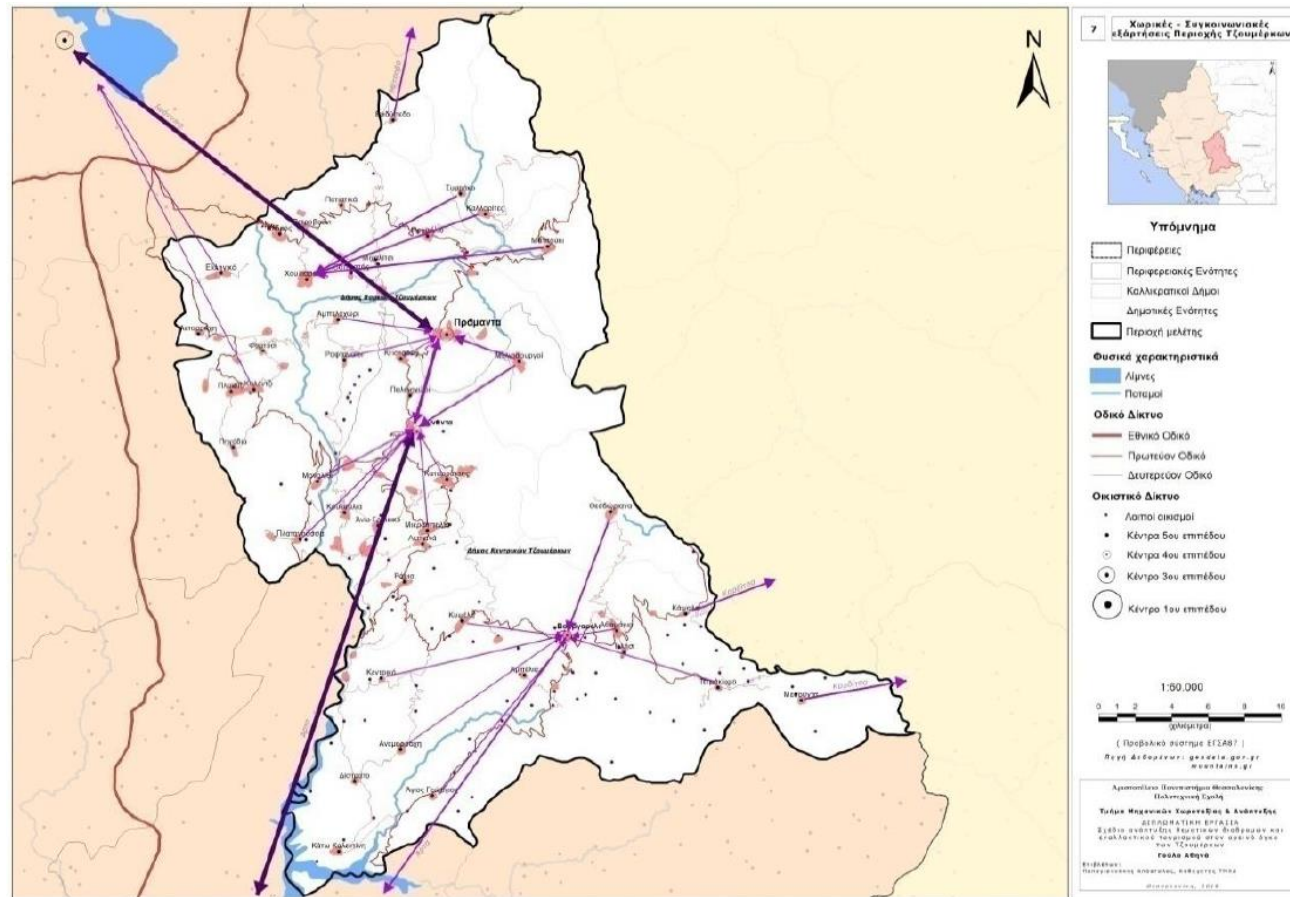
- 1ου επιπέδου αστικά κέντρα: κέντρα Περιφερειών (Ιωάννινα)
- 2ου επιπέδου αστικά κέντρα: κέντρα των Νομαρχιών (Άρτα)
- 3ου επιπέδου κέντρα: τα ημιαστικά κέντρα, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν με σχετική αυτοδυναμία ως τοπικοί πόλοι ανάπτυξης (Πράμαντα)
- 4ου επιπέδου κέντρα: οι έδρες των νέων Δήμων (Άγναντα, Βουργαρέλι)
- 5ου επιπέδου κέντρα: οι έδρες και όλοι οι οικισμοί των Δημοτικών και Κοινοτικών Ενοτήτων.

Οι περισσότεροι οικισμοί της περιοχής μελέτης ανήκουν στην κατηγορία κέντρα επιπέδου 5, ενώ 2 μόνο οικισμοί ανήκουν στην κατηγορία επιπέδου 4 (Βουργαρέλι, Άγναντα) και τέλος ένας μόνος οικισμός ανήκει στην κατηγορία επιπέδου 3 (Πράμαντα), δηλαδή αποτελεί το μοναδικό οικισμό, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με σχετική αυτοδυναμία ως τοπικός πόλος ανάπτυξης.



Χάρτης 4: Οικιστικό Δίκτυο Περιοχής Τζουμέρκων

Παρόλα αυτά, τα Τζουμέρκα είναι εξαρτημένα διοικητικά από τα γειτονικά αστικά κέντρα, Άρτα και Ιωάννινα καθώς, οι απαραίτητες για την εξυπηρέτηση των κατοίκων υπηρεσίες, όπως νομαρχία, εφορία, τράπεζες, δικαστήρια κτλ., καθώς και οι υποδομές υγείας, πρόνοιας και ανώτερης εκπαίδευσης, βρίσκονται σε αυτά. Οι σχέσεις εξάρτησης των οικισμών εντός της περιοχής είναι πολλές και ιδιαίτερα περίπλοκες (Χάρτης 5).



Χάρτης 5: Χωρικές - Συγκοινωνιακές Εξαρτήσεις Περιοχής Τζουμέρκων

3. Δίκτυα Ύδρευσης

3.1 Ορισμός και Δομή Δικτύων Ύδρευσης

Η ομαλή λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης απαιτεί σωστή οργάνωση και σχεδιασμό των υποδομών σύμφωνα με την μελέτη του έργου, η οποία πιστοποιεί την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρησή του. Οι εγκαταστάσεις ύδρευσης διακρίνονται σε ατομικές (σπιτιών) και συλλογικές (οικισμών, χωριών, πόλεων) (Παπαδάκης 1977). «Κάθε δίκτυο ύδρευσης αποτελεί ένα σύστημα αγωγών υπό πίεση, που παραλαμβάνει νερό από ολιγάριθμες πηγές και το οδηγεί προς πολλαπλά σημεία προορισμού. Διανέμει, δηλαδή, το επεξεργασμένο (καθαρό) νερό από τις δεξαμενές σε πολλαπλά σημεία προορισμού μιας αστικής περιοχής» (Τσακίρης 2008). Κάθε δίκτυο ύδρευσης, χωρίζεται σε δύο μέρη, το εξωτερικό υδραγωγείο, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των υδροδοτικών έργων, από την υδροληψία έως ανάντη της δεξαμενής ρύθμισης του οικισμού και το εσωτερικό υδραγωγείο, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των έργων διανομής κατάντη της δεξαμενής ρύθμισης (δίκτυο αγωγών, αντλίες, δικλείδες, ρυθμιστές πίεσης) (Τσακίρης 2008, Αραβαντινός 1977).

A) Το εξωτερικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο μεταφοράς, ενώ το εσωτερικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο διανομής. Πιο συγκεκριμένα, το εξωτερικό υδραγωγείο είναι η διάταξη έργων μεταφοράς νερού από την υδροληψία στην δεξαμενή ρύθμισης του οικισμού. Αποτελείται από τριών ειδών αγωγούς:

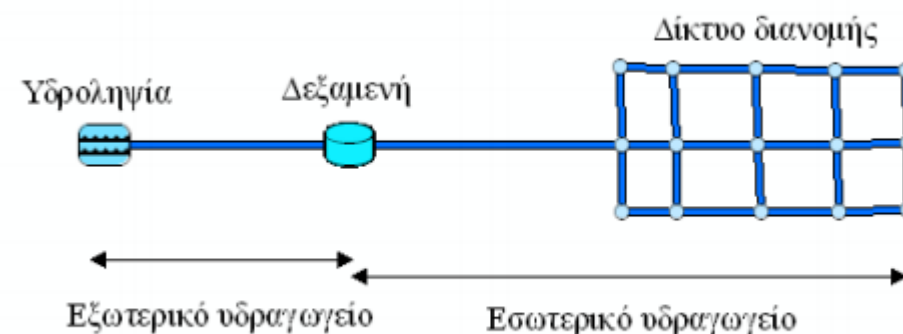
- ανοικτούς αγωγούς βαρύτητας
- κλειστούς αγωγούς υπό πίεση
- κλειστούς αγωγούς που λειτουργούν, όμως, ως αγωγοί ελευθέρως επιφανείας

B) Το εσωτερικό υδραγωγείο είναι το σύστημα διανομής ύδατος και περιλαμβάνει το άθροισμα των αγωγών που μεταφέρουν το νερό από την δεξαμενή αποθήκευσης σε κάθε σημείο της υδροδοτούμενης περιοχής, το οποίο αποτελεί και την περίπτωση που εξετάζουμε. Δύο είναι οι βασικές απαιτήσεις για το εσωτερικό υδραγωγείο :

- η εξασφάλιση της απαιτούμενης παροχής σε κάθε σημείο του δικτύου με ικανοποιητική ταχύτητα
- η διατήρηση της πίεσης (ύψος πίεσης) εντός των αποδεκτών ορίων

Τα δύο μέρη διαχωρίζονται από την δεξαμενή ρύθμισης ή αποθήκευσης, η οποία, ρυθμίζει σε 24ωρη βάση, την σταθερή εισροή από τον αγωγό μεταφοράς νερού από την υδροληψία, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στην μεταβαλλόμενη από τις απαιτήσεις της κατανάλωσης, εκροή προς το δίκτυο διανομής. Η δεξαμενή αποθήκευσης πληροί δύο λειτουργίες: α) την εξίσωση παροχών και καταναλώσεως, ανακουφίζοντας την παροχή σχεδιασμού για το εξωτερικό υδραγωγείο και β) την εξασφάλιση αποθηκευμένου νερού για την περίπτωση βλάβης ή πυρκαγιάς για το εσωτερικό υδραγωγείο.

Άρα, η παροχή σχεδιασμού για το εξωτερικό είναι η μέγιστη ημερήσια, ενώ για το εσωτερικό είναι η μέγιστη ωριαία. Συνεπώς, η δεξαμενή ρύθμισης, πρέπει μέσα στο εικοσιτετράωρο (αν η δεξαμενή έχει εικοσιτετράωρη βάση λειτουργίας), να έχει τέτοιο όγκο, ώστε να μπορεί να αποδώσει τις παροχές αιχμής για τον οικισμό για σταθερή εισροή από το εξωτερικό υδραγωγείο και επίσης, τον επιπλέον απαιτούμενο όγκο νερού για την περίπτωση της πυρκαγιάς.



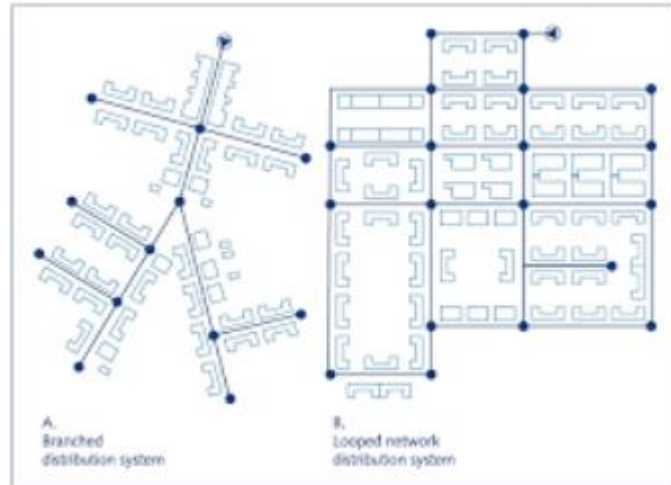
Εικόνα 3.1 Δομή Δικτύου Ύδρευσης

(Πηγή: Καρκατσούλη 2008)

Το εσωτερικό και το εξωτερικό υδραγωγείο έχουν πολλές και σημαντικές διαφορές στον σχεδιασμό τους. Καταρχήν, αν δεν υπήρχε η δεξαμενή ρύθμισης, όλο το υδραγωγείο θα σχεδιαζόταν βάση της παροχής σχεδιασμού του εσωτερικού. Όπως, επίσης, το εξωτερικό δίκτυο, ως δίκτυο διανομής, χαρακτηρίζεται από μεγάλες διαμέτρους σε όλο το μήκος του, εν αντιθέσει με το εσωτερικό που χαρακτηρίζεται από μικρότερες διαμέτρους.

3.2 Είδη Δικτύων Ύδρευσης

Τα δίκτυα ύδρευσης χωρίζονται σε ακτινωτά και βρογχωτά ή κλειστά δίκτυα, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο έχουν τοποθετηθεί οι αγωγοί τους (Τσακίρης 2008, Αραβαντινός 1977).



Εικόνα 3.2 Ακτινωτή και Βρογχωτή Μορφή Δικτύων Ύδρευσης
(Πηγή: Smet & van Wijn, 2002)

3.2.1 Ακτινωτά Δίκτυα Ύδρευσης

Ακτινωτά είναι τα δίκτυα, τα οποία υδροδοτούνται από ένα μοναδικό σημείο (κεφαλή) και δεν σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών (βρόχοι). Κάθε σημείο εξόδου τροφοδοτείται μέσω μιας μοναδικής διαδρομής. Στα δίκτυα αυτά υπάρχει ένας κεντρικός αγωγός μεταφοράς και όλοι οι δευτερεύοντες αγωγοί ή τριτεύοντες καταλήγουν πάντα στον κεντρικό αγωγό. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων αυτών, είναι η ελαχιστοποίηση του μήκους του δικτύου, άρα και η ελαχιστοποίηση του κόστους των αγωγών. Ενώ, μειονεκτήματα είναι η αυξημένη ενεργειακή απώλεια και ότι σε περίπτωση βλάβης επιβάλλεται η απομόνωση των κατάντη κλάδων του δικτύου και απαιτούνται έργα προστασίας, έναντι υδραυλικού πλήγματος.

3.2.2 Κλειστά Δίκτυα Ύδρευσης

Τα βρογχωτά ή κλειστά, αντίθετα από τα ακτινωτά, τροφοδοτούνται από ένα ή περισσότερα σημεία, στα οποία σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών. Σε κάθε σημείο οδηγούν περισσότερες από μία διαδρομή, με αφετηρία από τις κεφαλές του

δικτύου. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Με τα κλειστά δίκτυα επιτυγχάνεται καλύτερη κυκλοφορία του νερού και κατά συνέπεια καλή ποιότητα νερού, σε αντίθεση με τα ακτινωτά δίκτυα, όπου δεν υπάρχει καλή κυκλοφορία του νερού στα απόμακρα τμήματα των οικισμών. Επίσης, παρατηρούνται μειωμένες ενεργειακές απώλειες και σε περιπτώσεις βλαβών, επειδή, ακριβώς, υπάρχουν εναλλακτικές δυνατότητες για την κίνηση του νερού, δεν ακυρώνεται η λειτουργία της υδροδότησης των κατάντη κλάδων του δικτύου. Μειονέκτημα θεωρείται η σημαντική αύξηση του μήκους του δικτύου, συνεπώς και στην αύξηση του κόστους κατασκευής. Το κόστος αυτό αντισταθμίζεται, εν μέρει, από το χαμηλότερο κόστος της χρήσης μικρότερων διαμέτρων. Όπως, επίσης, και η μεγάλη δυσκολία στην διαχείρισή τους αλλά και στην εποπτεία τους.

3.3 Λειτουργικές Απαιτήσεις Δικτύων Ύδρευσης

Οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός δικτύου είναι η απαιτούμενη παροχή με ικανοποιητική ταχύτητα, η διατήρηση της πίεσης, ο περιορισμός των μέγιστων πιέσεων και η προστασία από υδραυλικό πλήγμα. Πιο αναλυτικά:

α) Η εξασφάλιση της απαιτούμενης παροχής, με ικανοποιητική ταχύτητα σε κάθε σημείο του δικτύου. Στα εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης, η ταχύτητα του νερού, θα πρέπει να είναι μεταξύ των ορίων: 0.5 – 1.5 m/s. Για τα κλειστά δίκτυα ύδρευσης, υπάρχει μεγαλύτερη ελαστικότητα στα όρια ταχύτητας, εφόσον στα δίκτυα αυτά επιτυγχάνεται καλύτερη κυκλοφορία του νερού.

β) Η διατήρηση της ελάχιστης πίεσης εντός των αποδεκτών ορίων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πίεση, είναι το ύψος των κτιρίων, η κατανάλωση νερού στις οικιακές συσκευές και οι ενεργειακές απώλειες στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων. Όταν υπάρχουν έκτακτες συνθήκες, δηλαδή πυρκαγιά, τότε η πίεση εξαρτάται και από την κατανάλωση των πυροσβεστικών κρουών (Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης 2005). Έτσι, απαιτούνται για κάθε κόμβο η ύπαρξη ελαχίστων πιέσεων, οι οποίες είναι:

- Μονώροφα: 12 - 15 m
- Διώροφα: 16 – 17 m
- Τριώροφα : 20 – 23 m

- Για πολυώροφα κτίρια, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση: $p_0 = 4 \cdot (n + 1)$, όπου n ο αριθμός των οροφών, 3 το μέσο ύψος ορόφου +1 απώλειες ανά όροφο και επιπλέον ένας υποθετικός όροφος για την επάρκεια της θεώρησης των απωλειών. Δηλαδή, για πολυώροφα κτίρια θεωρείται το μέσο ύψος 4 m και είναι απαραίτητα άλλα 4 m για να επαρκεί το ύψος πίεσης (Τσακίρης 2006).

Η ανεπαρκής πίεση σε μία περιοχή του δικτύου αντιμετωπίζεται με:

- την αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής, το οποίο δεν είναι πάντα εφικτό
- την αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου ή εναλλακτικά η τοποθέτηση παραλλήλων ανακουφιστικών αγωγών
- την τοποθέτηση αντλιών, σε περίπτωση μόνο αν έχουν εξαντληθεί οι άλλες εναλλακτικές λύσεις

γ) Ο περιορισμός της μέγιστης πίεσης, είναι αναγκαίος για την προστασία των εξαρτημάτων του δικτύου, των υδραυλικών εγκαταστάσεων των κτιρίων και των οικιακών συσκευών. Η στατική διαφορά πίεσης (ακίνητο νερό) μεταξύ της δεξαμενής (ανώτατη στάθμη λειτουργίας) και του χαμηλότερου σημείου, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 70 - 80m (Τσακίρης 2006).

δ) Η προστασία από υδραυλικό πλήγμα. Εάν σημειωθεί απότομη εκκίνηση ή διακοπή της ροής, είναι πιθανόν να εμφανιστούν πολύ μεγάλες υποπίεσεις και υπερπίεσεις, οι οποίες προκαλούν σημαντικές φθορές στο δίκτυο. Κίνδυνο πλήγματος αντιμετωπίζουν τα ακτινωτά τμήματα (που καταλήγουν σε τυφλό άκρο). Άρα, επιλέγεται η βρογχωτή διάταξη των αγωγών και για λόγους ασφαλείας έναντι βλάβης αλλά και για την αποφυγή υδραυλικών πληγμάτων. Η πίεση που θα πρέπει να αντέχουν οι αγωγοί, αυξάνεται στα 100μέτρα, έτσι ώστε να μπορούν να προβλέπονται και οι υπερπίεσεις λόγω του υδραυλικού πλήγματος. Συνεπώς, επιλέγονται αγωγοί αντοχής 10atm, για την ύδρευση και επίσης, επιλέγονται διάμετροι μεγαλύτερες ή ίσες 90mm (Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης 2005).

3.4 Σχεδιασμός Δικτύων Ύδρευσης

Σχεδιασμός δικτύων ύδρευσης ονομάζεται εκείνη η διαδικασία κατά την οποία γίνεται:

- Η επιλογή της διαδρομής, δηλαδή τα υψόμετρα και η περιοχή κάλυψης, που επιθυμούμε να καλύψει το δίκτυο μας
- Η επιλογή της διατομής και του υλικού των αγωγών
- Η επιλογή των απαραίτητων συσκευών για την λειτουργία του

Η διαδικασία του σχεδιασμού περιλαμβάνει ορισμένα δεδομένα για την περιοχή μελέτης και θέτει συγκεκριμένους περιορισμούς:

- Μελλοντικός πληθυσμός

Όταν διεξάγεται μια μελέτη κατασκευής, ή επέκτασης, ή επιδιόρθωσης ενός δικτύου, αναγκαστικά θα πρέπει τα υδραυλικά της χαρακτηριστικά να εξασφαλίζουν την μελλοντική χρήση του δικτύου. Συνήθως, η διάρκεια ζωής ενός δικτύου είναι 30-40 έτη.

- Παροχή σχεδιασμού

Για να γίνουν οι ορθοί υπολογισμοί θα πρέπει να υπάρχουν τα δεδομένα της κατανάλωσης νερού των κατοίκων της περιοχής. Επειδή, όμως, δεν είναι εύκολο να υπάρχουν αυτά τα στοιχεία με ακρίβεια και για περισσότερη ευκολία, ανάλογα πάντα με το μέγεθος, την δόμηση και την χρήση γης της περιοχής, που αναφέρεται το δίκτυο, υπολογίζεται μια μέση ημερήσια κατανάλωση κάθε κατοίκου (mean QH). Απαραίτητο, όμως, για να ικανοποιείται και η μέγιστη ανάγκη νερού, είναι και η παράθεση δύο επιπλέον μεγεθών, αυτό της μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης (maxQH) και αυτό της μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης (maxQw). Ως παροχή σχεδιασμού θεωρείται η μέγιστη κατανάλωση, που υποδηλώνει το στιγμιαίο μέγιστο της παροχής κατά την διάρκεια της ημέρας και αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση (Σπηλιώτης 2004). Η παροχή που επιλέγεται τελικά είναι η:

$$\max \{ \max Q_w, \max Q_H + Q_P \} \quad (3.1)$$

Όπου: QP η παροχή πυρκαγιάς, σύμφωνα με τις Οδηγίες Ελληνικών φορέων Ύδρευσης, που προσδιορίζεται από την ισαποχή στομίων παροχής 2x5 ή 2x5 ανά 500 ή 300 m ή 200 m αναλόγως της δόμησης. Σε μικρούς οικισμούς ο συνυπολογισμός

της παροχής πυρκαγιάς στην παροχή σχεδιασμού του οικισμού πρέπει να γίνεται κριτικά.

- Υπολογισμός παροχών κατανάλωσης (qi)

Σε κάθε κλάδο ενός δικτύου, συνδέονται οι αγωγοί υδροδότησης, όπου ο αριθμός τους είναι σε συνάρτηση με τις ανάγκες της υδροδοτούμενης περιοχής.

- Περιορισμοί ταχύτητας νερού

Στα δίκτυα ύδρευσης, θα πρέπει η ταχύτητα του νερού να κυμαίνεται μέσα στο όριο 0,5 – 1,5 m/s (Σπηλιώτης 2004). Το κατώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγονται οι αποθέσεις φερτών υλικών και κατά συνέπεια το φράξιμο των αγωγών. Ενώ, το ανώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγονται η διάβρωση των αγωγών και τα προβλήματα υπερπίεσεων λόγω υδραυλικού πλήγματος (Παντοκρατορας 1997).

- Απαιτήσεις και περιορισμοί πίεσης

Η σωστή λειτουργία ενός δικτύου οφείλει να εξασφαλίζει τις κατάλληλες πιέσεις στους κόμβους. Η στατική διαφορά πίεσης (ακίνητο νερό) μεταξύ της δεξαμενής, του ανώτατου σημείου, και του χαμηλότερου σημείου του δικτύου, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 69 m (Σπηλιώτης 2004). Οι υψηλές πιέσεις αυξάνουν τις απώλειες νερού λόγω διαρροών, δημιουργούν προβλήματα θορύβων στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων και προβλήματα λειτουργίας των υδραυλικών συσκευών των νοικοκυριών.

3.5 Προβλήματα Δικτύων Ύδρευσης

Η διαχείριση της λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης, αρχικά είχε ως στόχο την πλήρη κάλυψη των απαιτήσεων κατανάλωσης με το μικρότερο δυνατό λειτουργικό κόστος. Η εμφάνιση, όμως, έκτακτων περιστατικών στα δίκτυα, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών, δημιούργησαν την ανάγκη για την μελέτη και την ανάλυση αυτών των προβλημάτων. Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα διανομής νερού είναι οι απώλειες νερού, η μείωση της φυσικής τους ακεραιότητας, η μείωση της παροχρητευτικής τους ικανότητας και η υποβάθμιση της ποιότητας νερού κατά τη μεταφορά του (Κανακούδης 1998). Ο προσδιορισμός των αιτιών των προβλημάτων στα δίκτυα ύδρευσης, είναι μία αρκετά πολύπλοκη και επίπονη

διαδικασία, η οποία επιβάλλεται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων και όχι για την απλή επιδιόρθωσή τους. Ένα πρόβλημα μπορεί να έχει πολλές αιτίες, αλλά και μία αιτία να ευθύνεται για περισσότερα από ένα προβλήματα. Επίσης, η αιτία ενός προβλήματος ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα επίδρασης άλλων παραγόντων (π.χ. διάβρωση) (Κανακούδης 1998). Οι κατηγορίες των αιτιών που προκαλούν τα προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης, διακρίνονται σε εσωτερικές και εξωτερικές και ομαδοποιούνται σε έξι κατηγορίες ανάλογα με το αν προκαλούν (Κanakoudis 2004):

(α) διάβρωση

(β) μείωση παροχρητευτικής ικανότητας

(γ) διαρροές

(δ) θραύσεις

(ε) υποβάθμιση της ποιότητας του νερού

(στ) και άλλα προβλήματα.

3.6 Κλειστοί Αγωγοί υπό πίεση βαρύτητας

Κλειστοί αγωγοί υπό πίεση βαρύτητας, είναι οι αγωγοί, όπου η κίνηση του νερού οφείλεται στην υψομετρική διαφορά μεταξύ της υδροληψίας και της δεξαμενής ρύθμισης. Τα προβλήματα που προκύπτουν σε αυτούς τους αγωγούς είναι το πρόβλημα υποπίεσεων (πρόβλημα σπηλαίωσης) και το πρόβλημα μεγάλων πιέσεων λόγω έντονου ανάγλυφου. Βασική προϋπόθεση, λοιπόν, για την ορθή λειτουργία του δικτύου και την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων του, είναι η ορθή χάραξη του δικτύου με βάση το ανάγλυφο της περιοχής, η τοποθέτηση κατάλληλων δικλείδων μείωσης της πίεσης ή πιεζοθραυστικών αλλά και η ορθή επιλογή των διαμέτρων των αγωγών (Τσακίρης 2008). Οι ειδικές συσκευές που τοποθετούνται στα δίκτυα είναι:

- Οι δικλείδες ρύθμισης της παροχής, οι οποίες τοποθετούνται πριν και μετά από δεξαμενές, για να εξασφαλίζουν, σε περίπτωση βλάβης, απομόνωση του υπόλοιπου δικτύου.

- Οι βαλβίδες αντεπιστροφής ειδικά σε καταθλιπτικούς αγωγούς (περίπτωση αντλητικού συγκροτήματος) για να αποτρέψουν τη ροή σε αντίστροφη κατεύθυνση
- Οι εκκενωτές για την εκκένωση του δικτύου τοποθετούνται στα χαμηλότερα σημεία του δικτύου και επιτρέπουν την ελεύθερη εκροή προς ένα φυσικό αποδέκτη.
- Οι Αεραξαγωγοί, απελευθερώνουν τον αέρα που βρίσκεται στους αγωγούς, ωστόσο σε περίπτωση πλήγματος, εισάγουν αέρα και τοποθετούνται στα υψηλότερα σημεία του δικτύου, για να πετύχουν γρήγορη αποσυμπίεση του δικτύου.
- Οι μειωτές πίεσης, είναι ειδικές αυτόματες βαλβίδες που προκαλούν σταθερή πίεση, με μεγάλη χρησιμότητα στα δίκτυα που λειτουργούν υπό πίεση και ελεύθερη ροή (χωρίς άντληση), ενώ υπάρχουν σημαντικές υψομετρικές διαφορές (σε περιπτώσεις εξωτερικού αλλά και εσωτερικού υδραγωγείου)
- Τα πιεζοθραυστικά φρεάτια (αξιόπιστη λύση για την μείωση της πίεσης, μπορεί να προσομοιαστεί με την λειτουργία δεξαμενής, χωρίς όμως, την πρόβλεψη όγκου βλάβης ή πυρκαγιάς)

Βασική αρχή για τους αγωγούς υπό πίεση που λειτουργούν με βαρύτητα, είναι ότι θα πρέπει το νερό να φθάνει στην δεξαμενή με επαρκές πιεζομετρικό φορτίο, ώστε να καταنيκηθούν οι απώλειες ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, αν το νερό καταλήγει στην δεξαμενή με μεγάλο πιεζοθραυστικό φορτίο, είναι επίσης ανεπιθύμητο. Άρα, η διάταξη των βαλβίδων και η επιλογή των διαμέτρων, θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το νερό να καταλήγει ενεργειακά περίπου στην επιφάνεια της δεξαμενής. Όταν παρατηρούνται μεγάλες υψομετρικές διαφορές, τοποθετούνται μειωτές πίεσης ή πιεζοθραυστικά φρεάτια. Σε κάθε περίπτωση, όμως, η στατική πίεση πρέπει να είναι μικρότερη των 70 - 80m με δεδομένο εξωτερικό υδραγωγείο με αγωγούς 10atm (Τσακίρης 2008).

3.7 Υλικά Κατασκευής Αγωγών

Από τα κύρια μέρη ενός συστήματος διανομής αστικών υδάτων είναι οι αγωγοί. Κατά τον σχεδιασμό των δικτύων θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο

είδος των σωλήνων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και ιδιαίτερα στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των σωλήνων (Tsakiris and Tsakiris 2012). Με το πέρασμα των δεκαετιών, παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στην τεχνολογία, στην οικονομία και στο πλαίσιο σχεδιασμού. Τις τελευταίες δεκαετίες στην κατασκευή σωληνώσεων περιλαμβάνονται οι:

- σωληνώσεις πολυβινυλοχλωριδίου (PVC)
- επικαλυμμένοι χαλυβδοσωλήνες
- σωλήνες ολίσθησης (DI)
- σωλήνες πολυαιθυλενίου
- σωλήνες από ενισχυμένο πολυμερές γυαλί

Από οικονομικής πλευράς, ο σχεδιασμός των δικτύων έχει επηρεαστεί από πολλαπλά γεγονότα παγκοσμίως, όπως είναι η πετρελαϊκή κρίση, οι τιμές ενέργειας και οι πολεμικές συγκρούσεις σε διάφορα μέρη της γης, καθώς και από την πρόσφατη οικονομική κρίση. Όσον αφορά στο νομοθετικό πλαίσιο έχουν διαμορφωθεί νέες τάσεις που αφορούν:

- σε θέματα υγείας (απαγόρευση χρήσης σωλήνων αμιαντοτσιμέντου)
- στην μειωμένη ζήτηση νερού
- στις αυστηρότερες ευρωπαϊκές νομοθεσίες
- στην αξιοπιστία των υπηρεσιών κοινής ωφελείας
- στην ελαχιστοποίηση απωλειών νερού

Τέλος, στο πλαίσιο του σχεδιασμού παρατηρούνται αλλαγές:

- στο ιδιοκτησιακό καθεστώς του νερού
- στον πολεοδομικό σχεδιασμό
- στην διαθεσιμότητα πληροφοριών με χρήση νέων τεχνολογιών
- στην εξέλιξη της τεχνολογίας
- στην επιθυμητή μείωση των εισαγωγών

Η επιλογή των υλικών και των τύπων των σωληνώσεων εξαρτάται από το κόστος, την αξιοπιστία των υλικών, το επιτρεπόμενο όριο πιέσεων, το εύρος διαμέτρων, ο απαιτούμενος χρόνος κατασκευής, η διάρκεια ζωής (ανθεκτικότητα), η

διαθεσιμότητα των υλικών και των εξαρτημάτων στην αγορά και η δυνατότητα εύρεσης εξειδικευμένου δυναμικού για την λειτουργία και την συντήρηση των δικτύων. Με δεδομένο ότι οι σωληνώσεις είναι κρίσιμο στοιχείο στον σχεδιασμό των δικτύων, στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων σωλήνων (Tsakiris and Tsakiris 2012).

Όνομα υλικού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αμιάντο Τσιμέντο (AC)	Αντοχή και ακαμψία Διάβρωση ανθεκτική στα περισσότερα εδάφη και στο νερό Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκαμπτες αρθρώσεις που να επιτρέπουν κάποια εκτροπή	Κίνδυνος σκόνης αμιάντου για την ανθρώπινη υγεία Ευπάθεια σε χτυπήματα Δέσμη χαμηλής ισχύος Ευαίσθητο στη διάβρωση από ορισμένα εδάφη Διαπερατό σε ορισμένες συνθήκες του εδάφους Δύσκολο να εντοπιστεί Η ανίχνευση διαρροών είναι πιο δύσκολη από ότι στους μεταλλικούς σωλήνες Πολύπλοκη επισκευή
Χυτοσίδηρος (CI)	Αντοχή και ακαμψία Υψηλή μηχανική αντοχή Καλή αντίσταση στη διάβρωση Η θέση διαρροής είναι απλή	Πολύ βαρύ βάρος Ισχυρός αλλά εύθραυστος
Άκαμπτος χυτοσίδηρος (DI)	Υψηλή μηχανική αντοχή Καλή αντοχή στη διάβρωση Ευκολία σύνδεσης Εύκολος εντοπισμός Η θέση διαρροής είναι απλή	Πολύ βαρύ βάρος Πιθανά προβλήματα pH με μαλακό νερό Ευαίσθητο στη διάβρωση αν καταστραφεί η επικάλυψη Δυσκολίες σε μη ευθυγράμμιση Ακριβές συνδέσεις Χαμηλή αντοχή σε κρούση Απαιτείται διπλή επικάλυψη Δύσκολο να επισκευαστεί
Ατσάλι	Υψηλή μηχανική αντοχή, ανθεκτικό σε κρούσεις Ικανότητα να εκτρέπεται χωρίς σπάσιμο Πιο ελαφρύ βάρος από τους σωλήνες άκαμπτου χυτοσιδήρου Ευκολία κατασκευής μεγάλων σωλήνων Δυνατότητα ειδικών διαμορφώσεων με συγκόλληση Διαθεσιμότητα ποικιλίας αντοχών Ευκολία τροποποιήσεων κατά την εφαρμογή Εύκολη επισκευή	Ευαίσθητο στη διάβρωση * Απαιτείται διπλή επικάλυψη
Υαλοπλισμένοι πλαστικοί σωλήνες (GRP)	Ελαφρύ βάρος Ανθεκτικό στη διάβρωση Ευκολία σύνδεσης	Χαμηλή μηχανική αντοχή Δύσκολο να εντοπιστεί Δύσκολα σημεία διαρροών Ισχύς χαμηλής δέσμης
Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC)	Ανθεκτικό στη διάβρωση Ελαφρύ και εύκαμπτο Εύκολη σύνδεση	Ευπαθή σε ζημιά λόγω πρόσκρουσης Υπεριώδης υποβάθμιση για εκτεθειμένους σωλήνες Δύσκολο να εντοπιστεί Δύσκολα σημεία διαρροών Ισχύς χαμηλής δέσμης Δεν είναι κατάλληλο για μεγάλες διαμέτρους
Πολυαιθυλένιο (MDPE / HDPE)	Ανθεκτικό στη διάβρωση Ελαφρύ και εύκαμπτο Οι αρμοί μπορούν να συγκολληθούν Οι μικρές διαμέτρους είναι εύκολο να επισκευαστούν	Δύσκολο στον εντοπισμό Δύσκολα σημεία διαρροών Η σύνδεση με σύντηξη απαιτεί εξειδίκευση εγκαταστάτες και ειδικός εξοπλισμός Ισχύς χαμηλής δέσμης Δεν είναι κατάλληλο για μεγάλες διαμέτρους

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υλικών Κατασκευής Αγωγών

4. Μοντέλα Προσομοίωσης και Επίλυσης Δικτύων Ύδρευσης

4.1 Το Δίκτυο Ύδρευσης ως μαθηματικό μοντέλο

Με την έννοια «μαθηματικό μοντέλο», εννοείται ένα σύνολο υποθέσεων σχετικών με την λειτουργία ενός συστήματος, εκφρασμένων υπό μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων του συστήματος και κωδικοποιημένων σε γλώσσα υπολογιστή. Η προσομοίωση και επίλυση ενός δικτύου ύδρευσης, υλοποιείται μέσω της κατάλληλης μαθηματικής περιγραφής, ενός συνόλου μαθηματικών σχέσεων, που αναφέρονται στην υδραυλική λειτουργία του δικτύου.

Για να γίνει μαθηματική περιγραφή, θα πρέπει πρώτα να γίνει δικτυακή απεικόνιση των συνιστωσών του δικτύου, ως συνιστώσες μαθηματικού μοντέλου. Με την έννοια συνιστώσες, εννοούνται τα έργα αποθήκευσης νερού (δεξαμενές, υδατόπυργοι), τα έργα μεταφοράς νερού (αγωγοί υπό πίεση), οι διάφορες συσκευές ρύθμισης της ροής (δικλείδες, βαλβίδες), τα έργα ρύθμισης της πίεσης (μειωτές πίεσης, αντλιοστάσια) και επίσης, κάθε συσκευή διανομής. Η μαθηματική περιγραφή επιτυγχάνεται με μετασχηματισμό του δικτύου σε ένα εννοιολογικό μοντέλο, όπου οι συνιστώσες του δικτύου αναπαρίσταται με την μορφή ιδεατών κόμβων και κλάδων. Κόμβος ονομάζεται κάθε σημείο εισροής ή εκροής νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή μεταβολής των χαρακτηριστικών των αγωγών, με φόρτιση c , με απόλυτο υψόμετρο z , γνωστή παροχή εξόδου c και άγνωστο ενεργειακό υψόμετρο h . Κλάδος (αγωγός) ονομάζεται κάθε στοιχείο μεταφοράς νερού μήκους L , το οποίο αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά, ομοιόμορφης διαμέτρου D , κλάσης και τραχύτητας K_s , κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή Q (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης 2005).

Η διαμόρφωση του μοντέλου περιλαμβάνει α) τον ορισμό των συνιστωσών του δικτύου, δηλαδή των κόμβων και κλάδων και β) τον υπολογισμό των παροχών εξόδου.

Τα πεδία εφαρμογής των μοντέλων ανάλυσης δικτύων είναι στον σχεδιασμό νέου δικτύου, στην διαχείριση υφιστάμενου δικτύου αλλά και στην επέκταση υφιστάμενου δικτύου. Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται, παρέχουν την δυνατότητα επίλυσης των δικτύων ύδρευσης και σε συνθήκες σταθερής (στιγμιαίας) κατανάλωσης αλλά και σε συνθήκες χρονικά μεταβαλλόμενης κατανάλωσης (Κουτσογιάννης 2006).

- Επίλυση σταθερής κατάστασης (steady-state)

Σε αυτή την περίπτωση, ο υπολογισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής (παροχές, πιέσεις), γίνεται θεωρώντας σταθερή φόρτιση στους κόμβους. Με τον όρο φόρτιση εννοείτε η κατανάλωση στους κόμβους του δικτύου. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές διαστασιολόγησης αγωγών και αντλιών, καθώς και αποτίμησης της υδραυλικής επάρκειας υφιστάμενων δικτύων.

- Επίλυση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης (extended-period)

Σε χρονικά μεταβαλλόμενη κατάσταση, η επίλυση του δικτύου γίνεται σε διακριτά χρονικά βήματα, θεωρώντας χρονικά μεταβαλλόμενη κατανάλωση. Το ζητούμενο είναι ο έλεγχος της δυναμικής λειτουργίας του δικτύου σε κανονικές και έκτακτες συνθήκες. Συνήθως, η διάρκεια της επίλυσης είναι μεγαλύτερη των 24 ωρών (τυπική τιμή 72 ώρες), ενώ το χρονικό βήμα εξαρτάται από τη διακύμανση των καταναλώσεων στο δίκτυο (τυπική τιμή μία ώρα). Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές χωροθέτησης και ελέγχου της επάρκειας δεξαμενών, υπολογισμού της ενέργειας άντλησης και ανάλυσης της διαίτας των ποιοτικών παραμέτρων του νερού.

Προτείνεται μοντελοποίηση του υφιστάμενου δικτύου, για την διαχείριση, καθώς και για τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του. Απαραίτητη, βέβαια είναι η απογραφή του υφιστάμενου δικτύου και η συλλογή των αρχείων όλων των καταναλωτών, μια χρονοβόρα διαδικασία λόγω έλλειψης της κατάλληλης υποδομής. Στην συνέχεια, γίνεται η σχηματοποίηση του μοντέλου, με την ιδιαιτερότητά σε αυτήν την περίπτωση, ότι οι παροχές εξόδου προκύπτουν από πραγματικές καταναλώσεις και όχι βάσει υποθέσεων. Ακολουθεί η ρύθμιση του μοντέλου, δηλαδή, το μοντέλο που θα προκύψει, πρέπει να προσαρμοστεί στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου. Για να ολοκληρωθεί η ρύθμιση, πρέπει να γίνουν πολλαπλές επιλύσεις του μοντέλου, ώσπου η απόκλιση των αποτελεσμάτων του σε σχέση με τις πραγματικές τιμές να είναι αποδεκτή. Οι αποκλίσεις παρατηρούνται, λόγω της ασυνέπειας μεταξύ των αρχικών σχεδίων και της υλοποίησής τους (αβεβαιότητα στον καθορισμό των μηκών και των διαμέτρων), επίσης, λόγω των θραύσεων των αγωγών και των παράνομων συνδέσεων (σφάλματα στην εκτίμηση

των παροχών εξόδου) και τέλος, στην δυσκολία εκτίμησης των συντελεστών τραχύτητας (γήρανση, τοπικές απώλειες).

4.2 Λογισμικό Επίλυσης Υδρευτικών Δικτύων – EPANET

Το πρόγραμμα αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ και είναι ελεύθερα διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html>, (Rossman 1993)

Το EPANET είναι ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο προσομοιώνει την χρονική διακύμανση των υδραυλικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής του νερού (και του υπολειμματικού χλωρίου) σε δίκτυα διανομής υπό πίεση, κάθε μεγέθους και οποιασδήποτε τοπολογίας. Ένα δίκτυο αποτελείται από αγωγούς, κόμβους, αντλίες, βαλβίδες και δεξαμενές αποθήκευσης ή ταμειυτήρες.

Το EPANET χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ροής του νερού σε κάθε αγωγό, της πίεσης σε κάθε κόμβο, του ύψους του νερού σε κάθε δεξαμενή και της περιεκτικότητας χημικών στοιχείων στο δίκτυο κατά την περίοδο προσομοίωσης που αποτελείται από πολλαπλά χρονικά βήματα.

Επιπλέον, όσον αφορά στα χημικά στοιχεία, μπορεί ακόμη να προσομοιωθεί ο χρόνος παραμονής του νερού στο σύστημα. Το EPANET λειτουργεί σε περιβάλλον Windows, παρέχοντας έναν οπτικό επεξεργαστή, μέσω του οποίου προκύπτουν αποτελέσματα, όπως είναι οι χάρτες του δικτύου με χρωματική κωδικοποίηση, πίνακες δεδομένων, γραφήματα χρονοσειρών και περιγράμματα.

4.2.1 Υδραυλική Μοντελοποίηση

Ειδικότερα, η πλήρης και ακριβής υδραυλική μοντελοποίηση του δικτύου, είναι βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού. Το πρόγραμμα εξετάζει τις γραμμικές αλλά και τοπικές απώλειες, προσομοιώνει δεξαμενές ποικίλων διαστάσεων, διαφόρους τύπους ειδικών συσκευών (δικλείδες, μειωτές πίεσης), καθώς και αντλίες σταθερής ή μεταβλητής παροχής, υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας του δικτύου, επιτρέπει την χρήση διαφορετικών προτύπων χρονικής διακύμανσης της κατανάλωσης για πολλαπλές χρήσεις και για κάθε κόμβο και

επίσης, υποστηρίζει την δυνατότητα ενσωμάτωσης κανόνων λειτουργίας του δικτύου, μέσω κώδικα που γράφει ο χρήστης. Επίσης, δεν θέτει όριο στο μέγεθος του δικτύου και εξετάζει την λειτουργία του συστήματος, τόσο σε κανονικό επίπεδο στάθμης της δεξαμενής ή ρύθμιση χρονομέτρου αλλά και σε πιο περίπλοκες ρυθμίσεις.

4.2.2 Διαδικασία Χρησιμοποίησης του EPANET

Τα στάδια δημιουργίας ενός δικτύου παροχής νερού στο EPANET είναι τα εξής:

- σχεδιασμός αναπαράστασης του δικτύου παροχής
- επεξεργασία των ιδιοτήτων όλων των στοιχείων που υπάρχουν στο σύστημα (κόμβοι, αγωγοί, δεξαμενές κ.λπ.)
- περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματός μας
- ανάλυση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου
- εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, σε χάρτες, γραφήματα και πίνακες.

4.2.3 Εφαρμογές του EPANET

Το EPANET βοηθάει, τόσο στην υδραυλική όσο και στην ποιοτική βελτιστοποίηση δικτύων διανομής και μεταφοράς, στους καταναλωτές, νερού. Το πρόγραμμα μεταξύ των ποικίλων δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει, στη δεδομένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε για:

- σχεδιασμό και βελτίωση υδραυλικής απόδοσης συστήματος
- ικανή και αναγκαία επιλογή μεγέθους για την τοποθέτηση σωληνώσεων, βαλβίδων και αντλιών
- βοήθεια στην ανάλυση δικτύου για κατάσβεση αστικών πυρκαγιών
- βοήθεια στην εκπόνηση μελετών επικινδυνότητας του δικτύου

4.3 Μεθοδολογία Επίλυσης Δικτύων EPANET

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο λογισμικό πρόγραμμα EPANET για την επίλυση δικτύων ύδρευσης, δηλαδή να λύσει τη συνέχεια ροής και τις εξισώσεις απωλειών ύψους, που χαρακτηρίζουν την υδραυλική κατάσταση του δικτύου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους Todini και Pilati, το 1987 και αργότερα από τον Salgado et al. το 1988, οι οποίοι επέλεξαν να την αποκαλούν "Gradient Method" και αποτελεί μία υβριδική και βαθμωτή μέθοδο. Είναι μεταγενέστερη των τριών βασικών μεθόδων (Q-cross, Newton-Raphson, Γραμμική) και ουσιαστικά χρησιμοποιεί στοιχεία και από την μέθοδο Newton – Raphson αλλά και από την γραμμική μέθοδο.

Με την μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι ολικές απώλειες ενέργειας, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος των αγωγών του δικτύου. Η μόνη διαφορά μεταξύ αυτών των μεθόδων είναι ο τρόπος με τον οποίο οι παροχές στους αγωγούς ενημερώνεται μετά από μια νέα δοκιμαστική λύση για τις απώλειες στους κόμβους.

Για ένα σύνολο γνωστών φορτίων στους κόμβους σταθερής ποιότητας, επιδιώκουμε μια λύση για όλα τα υψόμετρα H_i και τις ροές Q_{ij} που ικανοποιούν τις εξισώσεις παροχής-απωλειών σε ένα σωλήνα μεταξύ των κόμβων i και j και συνέχειας σε όλους τους κόμβους.

Η επίλυση με την Gradient Method, ξεκινάει με μια αρχική εκτίμηση των ροών σε κάθε αγωγό του δικτύου, όπου δεν είναι απαραίτητη η εξασφάλιση της αρχής της συνέχειας της ροής.

Σε κάθε επανάληψη της μεθόδου, νέα φορτία στους κόμβους βρίσκονται από την επίλυση της εξίσωσης των πινάκων και υπολογίζονται τα ύψη ενέργειας σε κάθε κόμβο

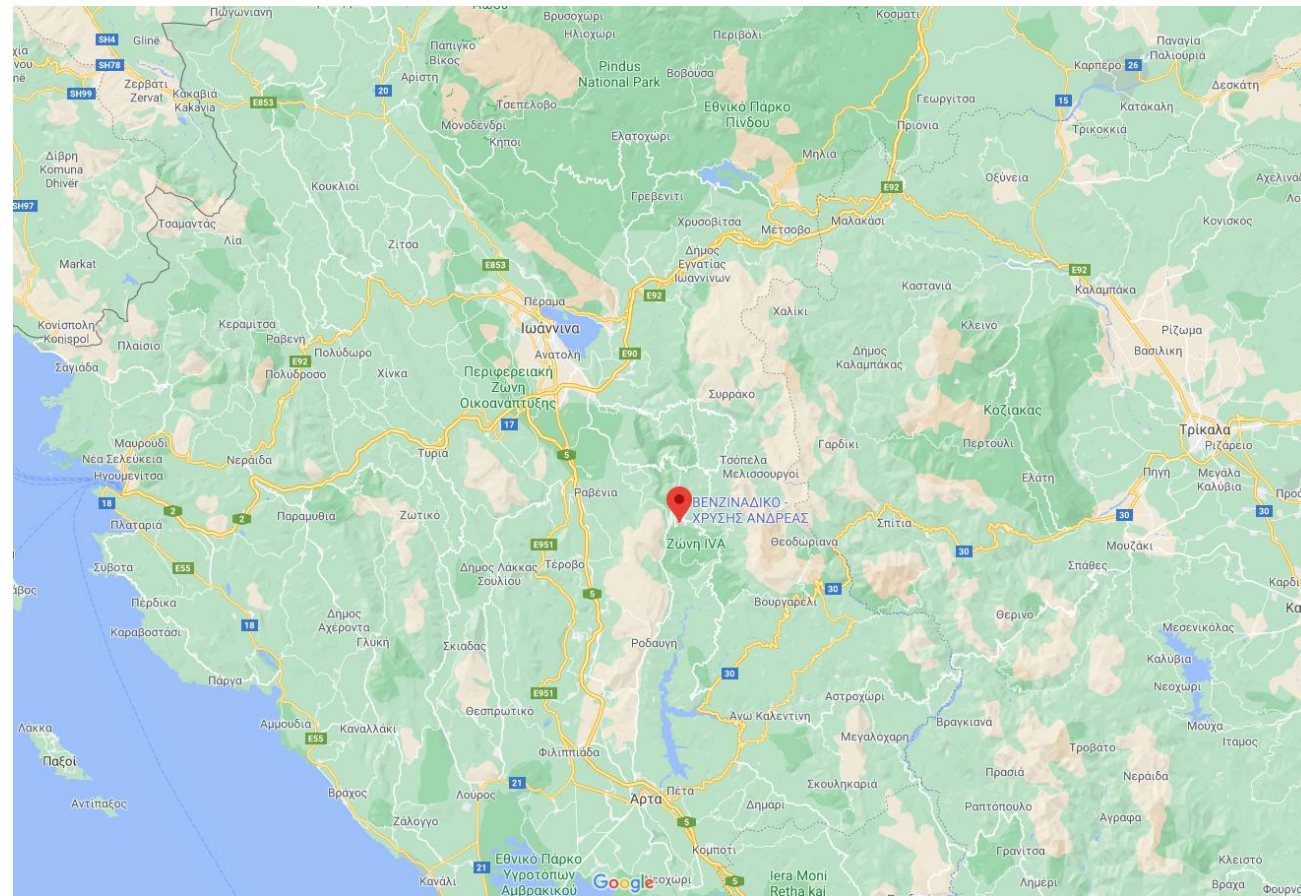
Αν το άθροισμα των απόλυτων της παροχής αλλάζει σε σχέση με την ολική ροή σε όλους τους συνδέσμους και είναι μεγαλύτερο από κάποια ανοχή (π.χ., 0.001), τότε οι εξισώσεις επιλύονται και πάλι. Ο τύπος ενημέρωσης της παροχής οδηγεί πάντα σε συνέχεια της παροχής γύρω από κάθε κόμβο μετά την πρώτη επανάληψη.

5. Μοντελοποίηση Νέων Δικτύων Διανομής

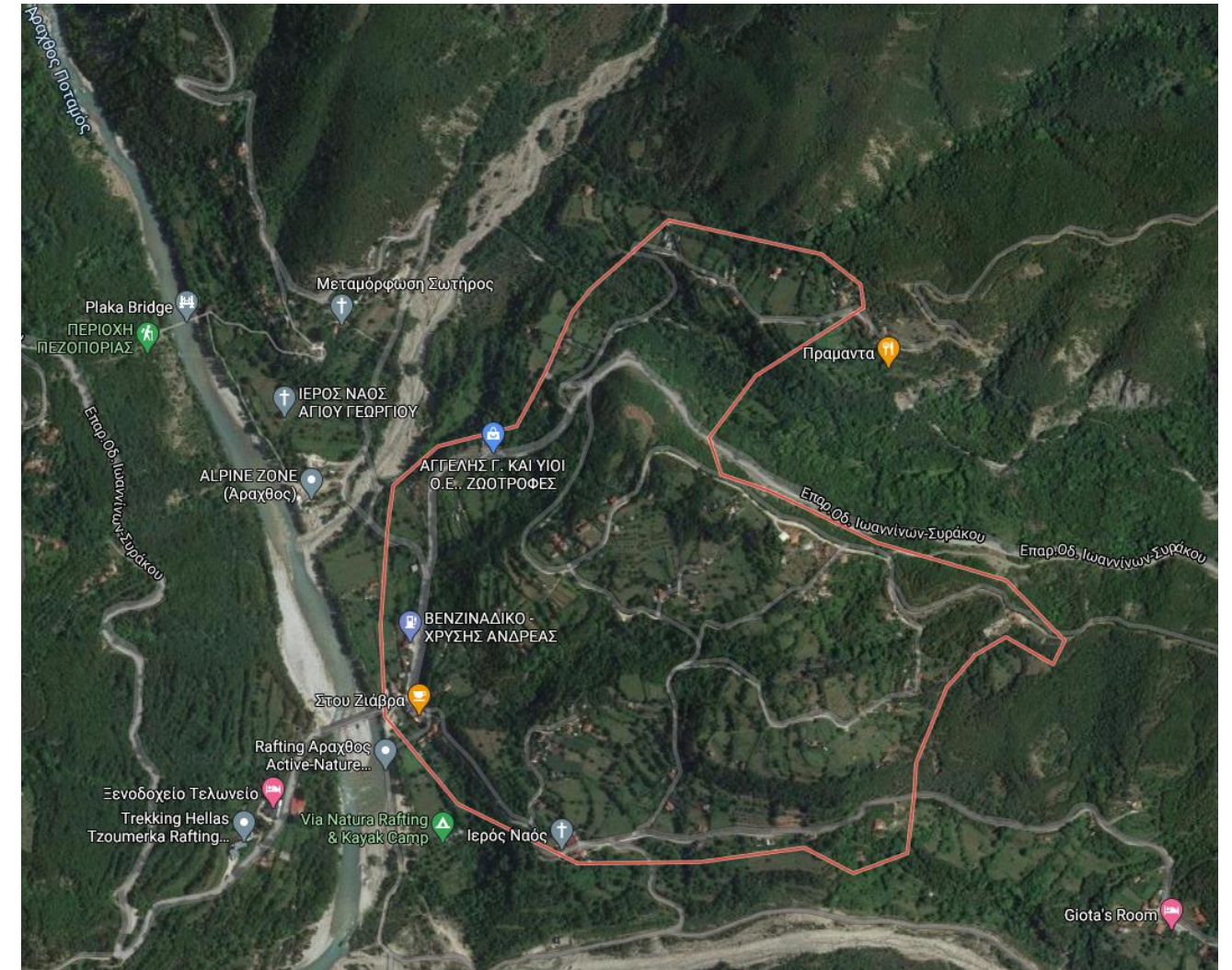
5.1 Περιοχή Μελέτης

Φράστα

Το δίκτυο διανομής που μελετάται βρίσκεται μέσα στα όρια της κοινότητας Αγνάντων του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων, και τροφοδοτείται από μία δεξαμενή που είναι τοποθετημένη εντός κοινότητας και οικισμού. Ο οικισμός των Φραστών βρίσκεται στο βόρειο-δυτικό τμήμα της κοινότητας Αγνάντων σε πολύ κοντινή απόσταση από τις όχθες του Αράχθου ποταμού. Καταλαμβάνει έκταση περίπου 287 στρεμμάτων, αντιπροσωπεύοντας το 0,23% του δήμου της Κ. Τζουμέρκων. Η θέση του οικισμού Φραστών στον δήμο Κ. Τζουμέρκων είναι σημειωμένη στην Εικόνα 5.1 που ακολουθεί, ενώ στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται η γενική άποψη του οικισμού.



Εικόνα 5.1: Θέση οικισμού Φραστών στο Δήμο Κ.Τζουμέρκων



Εικόνα 5.2: Γενική φώτο του οικισμού των Φραστών (Google Earth)

Τα Φράστα είναι ένα χωριό του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων με 88 μόνιμους κατοίκους (απογραφή 2011) και βρίσκεται στον ορεινό όγκο των Τζουμέρκων, σε υψόμετρο 252 μέτρων. Ο οικισμός απέχει από την πόλη της Άρτας περίπου 46 χιλιόμετρα ενώ η απόσταση από το Βουργαρέλι είναι περίπου 40 χιλιόμετρα.

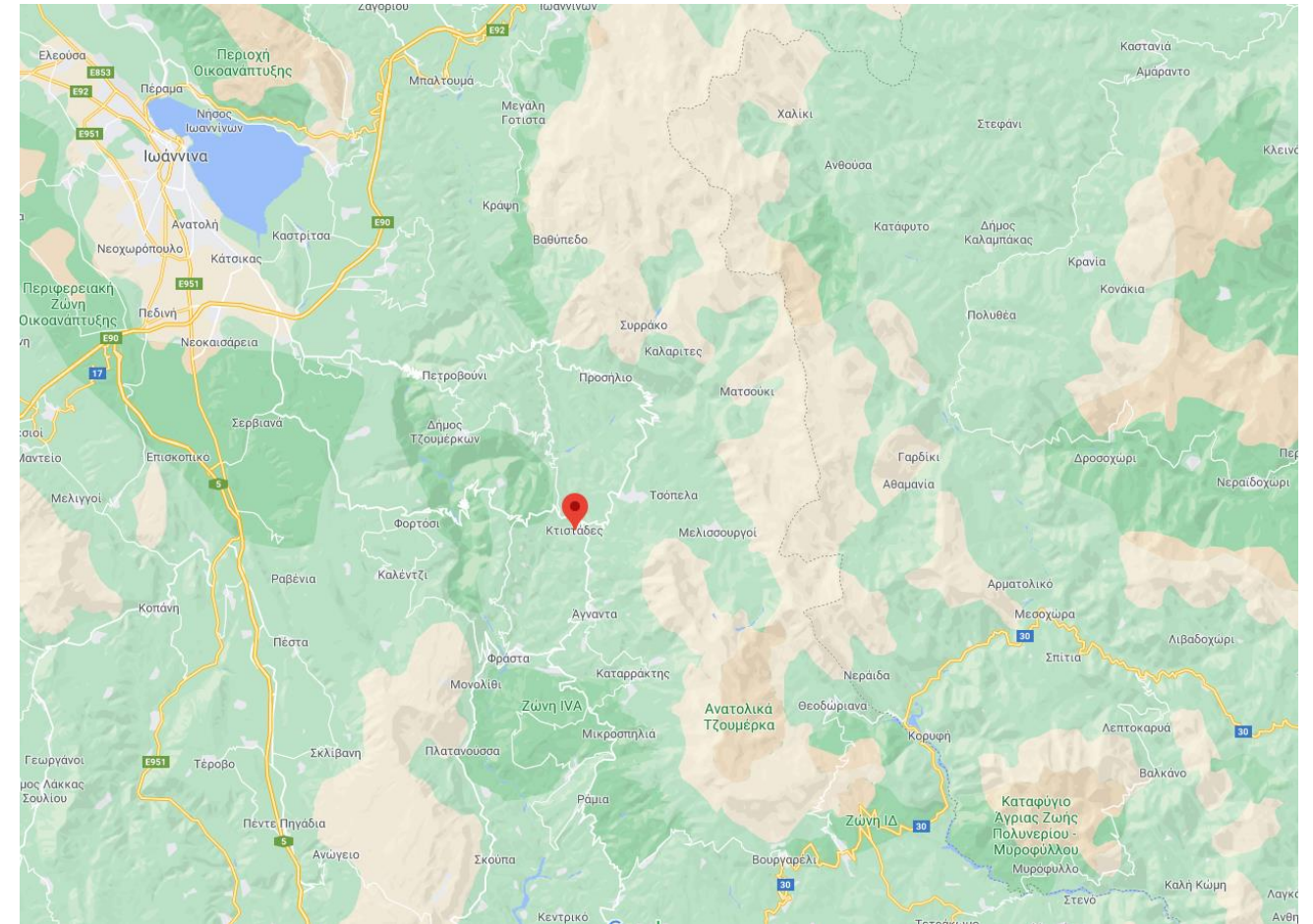
Σύμφωνα με το Σχέδιο Καποδίστρια, τα Φράστα υπήρξαν μέχρι το τέλος του 2010, οικισμός του νεοσύστατου Δήμου Αγνάντων. Με βάση τη νέα διοικητική διαίρεση που προβλέπει το Σχέδιο Καλλικράτης, τα Φράστα εντάχθηκαν στον Δήμο Κεντρικών Τζουμέρκων. Τα Φράστα μαζί με την Άρτισσα, το Καταφύγι, τα Κονάκια, το Παλαιοχώρι και τα Άγναντα αποτελούν την τοπική κοινότητα Αγνάντων με συνολικό πληθυσμό 430 κατοίκους.

Ο οικισμός αναγνωρίστηκε το 1940 και προσαρτήθηκε στην κοινότητα Αγνάντων. Το 1997 ο οικισμός εντάχθηκε στο Δήμο Αγνάντων και το 2010 εντάχθηκε στο Δήμο Κεντρικών Τζουμέρκων.

Κτιστάδες

Το δίκτυο διανομής που μελετάται βρίσκεται μέσα στα όρια της κοινότητας Άρτας του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων, και τροφοδοτείται από μία ρυθμιστική δεξαμενή που είναι τοποθετημένη εντός οικισμού.

Το χωριό είναι χτισμένο σε υψόμετρο 706 μέτρων περίπου στις βορειοδυτικές υπώρειες των Τζουμέρκων. Εγγύς του βρίσκονται τα χωριά Άγναντα Άρτας, Μελισσουργοί Άρτας, Πράμαντα Ιωαννίνων, Τσόπελα Ιωαννίνων και Ραφταναίοι Ιωαννίνων. Απέχει 46 χλμ. από το Βουργαρέλι, έδρα του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων, 60 χλμ. από την Άρτα και 53,5 χλμ. από τα Ιωάννινα. Καταλαμβάνει έκταση περίπου 203 στρεμμάτων, αντιπροσωπεύοντας το 0,16% του δήμου της Κ. Τζουμέρκων. Η θέση του οικισμού Κτιστάδων στον δήμο Κ. Τζουμέρκων είναι σημειωμένη στην Εικόνα 5.3 που ακολουθεί, ενώ στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η γενική άποψη του οικισμού.



Εικόνα 5.3: Θέση οικισμού Κτιστάδων στο Δήμο Κ.Τζουμέρκων



Εικόνα 5.4: Γενική φώτο του οικισμού των Κτιστάδων (Google Earth)

Οι Κτιστάδες είναι μικρός ορεινός οικισμός του Νομού Άρτας, αποτελεί έδρα της ομώνυμης τοπικής κοινότητας, και σύμφωνα με το «Πρόγραμμα Καλλικράτης» από 1/1/2011 ανήκει στο Δήμο Κεντρικών Τζουμέρκων. Την περίοδο 1997-2010, βάσει του «Σχεδίου Καποδίστριας», ανήκε στον πρώην Δήμο Αγνάντων ως έδρα του ομώνυμου πρώην δημοτικού διαμερίσματος.

Παλιότερα ονομαζόταν Κουσοβίστα, ονομασία που άλλαξε στην σημερινή με το ΦΕΚ 76Α της 02/05/1927, όπως και αυτή της κοινότητας.

5.2 Δεδομένα Περιοχής Μελέτης

5.2.1 Πληθυσμιακά Δεδομένα - Δημογραφική Κατάσταση

Το υδρευτικό σύστημα θα πρέπει να καλύπτει τόσο τις σημερινές μας ανάγκες όσο και τις μελλοντικές απαιτήσεις. Επομένως είναι απαραίτητο να γίνει πρόβλεψη της αύξησης του πληθυσμού

Αναφέρονται επιγραμματικά οι συνήθεις μέθοδοι εκτίμησης του μελλοντικού πληθυσμού (Κουτσογιάννης, 1999):

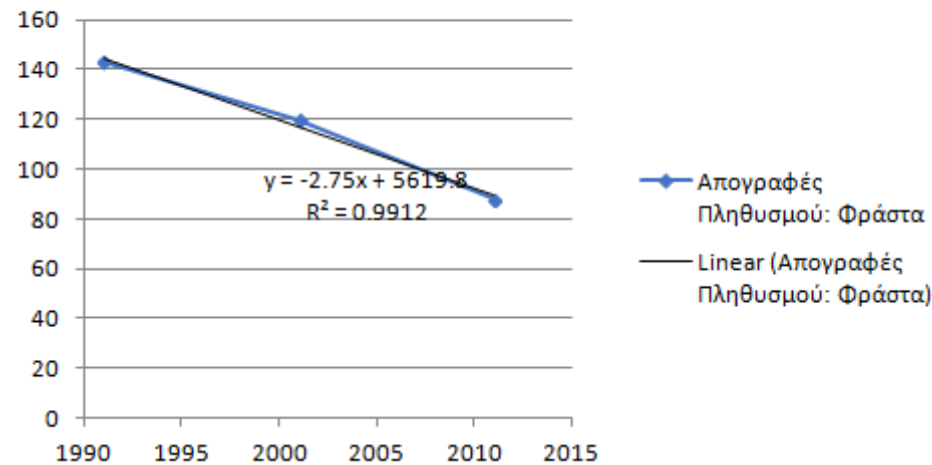
1. Παραδοχή γραμμικής αύξησης του πληθυσμού
2. Παραδοχή σταθερού ποσοστού ετήσιας αύξησης του πληθυσμού
3. Παραδοχή διαφορετικών ποσοστών αύξησης του πληθυσμού ανά δεδομένες χρονικές περιόδους, π.χ. ανά δεκαετία.
4. Χρησιμοποίηση της λογιστικής καμπύλης (σχήματος S), η οποία χαρακτηρίζεται από ένα πληθυσμό κορεσμού ΠΚ που αντιστοιχεί στην έσχατη ανάπτυξη της πόλης.
5. Γραφική επέκταση στο μέλλον της καμπύλης μεταβολής του πληθυσμού στο παρελθόν.
6. Γραφική σύγκριση με την εξέλιξη του πληθυσμού άλλων πόλεων, μετά από το χρόνο που ο πληθυσμός τους ήταν ίδιος με τον πληθυσμό της υπό μελέτης πόλης.

Η επιλογή της μεθόδου που τελικά θα χρησιμοποιηθεί βασίζεται στην εικόνα της εξέλιξης του πληθυσμού στο παρελθόν.

Ο πληθυσμός του οικισμού Φραστών μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζει γραμμική μείωση με ρυθμό μείωσης 27 κατοίκους ανά δέκα έτη ($R^2=0.99$), σύμφωνα με τις απογραφές 1991, 2001, 2011. Κρίνεται τελικώς ορθότερος ο σχεδιασμός του δικτύου για την υφιστάμενη πληθυσμιακή κατάσταση αφού ως κρίσιμη θα εξυπηρετεί κατά πάσα πιθανότητα τον φθίνοντα μελλοντικό πληθυσμό.

Φράστα	1991	2001	2011
Απογραφές	143	120	88
Απογραφές (de facto)	194	157	88

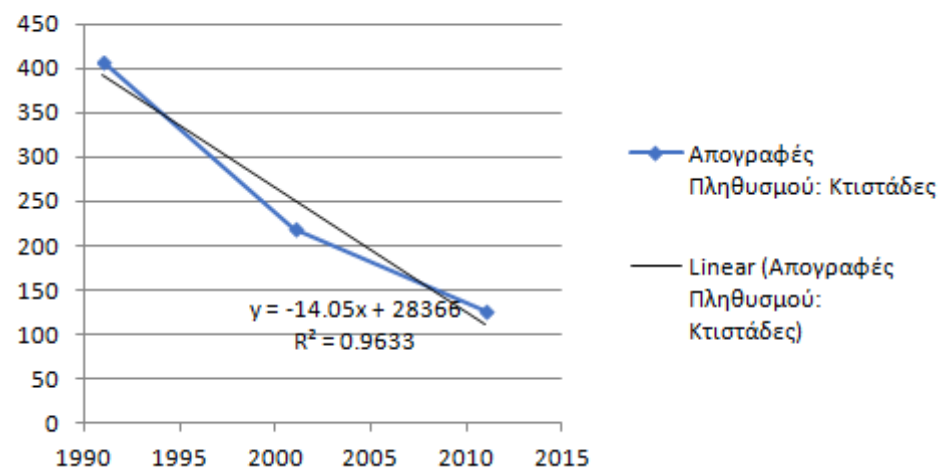
Απογραφές Πληθυσμού: Φράστα



Ομοίως, ο πληθυσμός του οικισμού Κτιστάδων μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζει γραμμική μείωση με ρυθμό μείωσης 140 κατοίκους ανά δέκα έτη ($R^2=0.96$), σύμφωνα με τις απογραφές 1991, 2001, 2011. Κρίνεται τελικώς ορθότερος ο σχεδιασμός του δικτύου για την υφιστάμενη πληθυσμιακή κατάσταση αφού ως κρίσιμη θα εξυπηρετεί κατά πάσα πιθανότητα τον φθίνοντα μελλοντικό πληθυσμό.

Κτιστάδες	1991	2001	2011
Απογραφές	408	220	127
Απογραφές (de facto)	413	243	261

Απογραφές Πληθυσμού: Κτιστάδες



Βέβαια σε τουριστικές περιοχές όπου υπάρχει προσωρινή αύξηση πληθυσμού θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν. Πολλές φορές ο πληθυσμός λόγω τουρισμού διπλασιάζεται η ακόμα και τριπλασιάζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, κατά κύριο λόγο.

Στην περίπτωση των Φραστών παρουσιάζονται δύο τουριστικά καταλύματα που κρίνονται αμελητέας δυναμικότητας και αντιμετωπίζονται ως απλές κατοικίες.

Σε αντίθεση στον οικισμό των Κτιστάδων παρουσιάζεται σύμπλεγμα μικρών τουριστικών μονάδων-καταλυμάτων στα νότιο-ανατολικά του οικισμού η οποία χρήζει σε ξεχωριστή αντιμετώπιση ως προς τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά της.

Σε κάθε περίπτωση γίνεται κατάλληλη υπόθεση παραθεριστών στις υφιστάμενες περιοχές, για τη θερινή κυρίως περίοδο, σύμφωνα με την πολεοδομική ανάπτυξή τους.

5.2.2 Πολεοδομικά Δεδομένα

Η οικονομία της περιοχής μελέτης στηρίζεται στον πρωτογενή τομέα, καθώς οι ασχολίες των κατοίκων αφορούν κυρίως την κτηνοτροφία και την γεωργία (τόσο για τον οικισμό Φραστών όσο και των Κτιστάδων). Οι όροι δόμησης του οικισμού είναι χρήσιμοι σε μία μελέτη υδρευτικού δικτύου για την εκτίμηση της πυκνότητας του πληθυσμού, ώστε να κατανοηθεί ανάλογα η συνολική ποσότητα του νερού στους κόμβους του δικτύου. Στη περίπτωση των δικτύων των δύο οικισμών (Φραστών, Κτιστάδων), λόγω δυσκολίας πρόσβασης σε αυτά τα στοιχεία, η κατανομή των καταναλώσεων έγινε με την εκτίμηση της πυκνότητας δόμησης μέσω αεροφωτογραφιών, και κάνοντας παραδοχή σταθερού πληθυσμού ανά νοικοκυριό με μόνη εξάρτηση το είδος του (μόνιμο, τουριστικό). Στη πλειονότητά τους τα κτίρια της περιοχής είναι μονώροφα και διώροφα, ενώ ύπαρξη πολυώροφων κτιρίων και πολυκατοικιών δεν εντοπίζεται εντός των ορίων των οικισμών.

5.3 Συνθήκες Εκμετάλλευσης – Υφιστάμενες Υδατικές Δεσμεύσεις και Δυσχέρειες

Οι υδρευτικές ανάγκες των δύο οικισμών καλύπτονται πλήρως από το τοπικό υδατικό δυναμικό- πηγές όρους Λάκμος, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.

Η παροχетеυτική ικανότητα των πηγών αυτών σε συνδυασμό με την σωστή χάραξη του δικτύου ύδρευσης και την εξάλειψη των λειτουργικών προβλημάτων του δικτύου είναι σε θέση να καλύψει κάθε ανάγκη του οικισμού τόσο στην υφιστάμενη μορφή του όσο και υπό οποιαδήποτε μελλοντική ανάπτυξη του.

Το βασικό μειονέκτημα του παλαιού δικτύου του οικισμού μελέτης, όπως εξάλλου και κάθε αμιαντοσωληνικής φύσεως δικτύου, προέρχεται από την ευαίσθητη φύση του υλικού αυτού κατασκευής που επιφυλάσσει προβλήματα μεταφοράς, διανομής και ποιότητας νερού. Είναι γεγονός ότι μεγάλες ποσότητες νερού χάνονται λόγω ύπαρξης σπασιμάτων του δικτύου τα οποία είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να επιδιορθωθούν, ενώ είναι πολύ πιθανό να παρατηρούνται απώλειες λόγω της μη σωστής εξ αρχής εγκατάστασης των δικτύων, καθώς οι αμιαντοσωλήνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι κατά την μεταφορά, τοποθέτηση και τη μεταξύ τους στεγανή συναρμογή. Συνέπεια όλων των παραπάνω είναι η προβληματική και ανεπαρκής λειτουργία των δικτύων ύδρευσης ενώ το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο έντονο τους καλοκαιρινούς μήνες όπου υπάρχουν αυξημένες καταναλωτικές ανάγκες για ύδρευση και άρδευση των γεωργικών εκτάσεων και κάθε σταγόνα νερού είναι απαραίτητη. Επίσης το υλικό αυτό κατασκευής των δικτύων κρίνεται ακατάλληλο και για την υγεία των κατοίκων αφού η ινώδης φύση του αμιάντου μπορεί να προκαλέσει σημαντικές πνευμονικές παθήσεις και καρκινογένεση. Το στοιχείο της υγιεινής έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην απόφαση αντικατάστασης, γενικότερα, των δικτύων ύδρευσης και των δύο οικισμών.

Τελικώς το υφιστάμενο δίκτυο των οικισμών ενδεχομένως να υστερούσε σχεδιαστικά και κατασκευαστικά, ως προς την αυτονομία και ισοκατανομή του παρεχόμενου νερού στα υψηλότερα και χαμηλότερα σημεία των οικισμών, καθώς οι επιλεγμένες διατομές και κλίσεις των υπαρχόντων αγωγών να μην ήταν σε θέση να καλύψουν τις λειτουργικές απαιτήσεις όσον αφορά την ποσότητα του νερού που είναι ανάγκη να μεταφερθεί και την πίεση την οποία πρέπει να αυτό να έχει για την εξυπηρέτηση όλων των οικιών.

5.4 Μοντελοποίηση Νέου Δικτύου Διανομής

Η διαδικασία της μοντελοποίησης του δικτύου περιλαμβάνει τον καθορισμό της σχηματικής διάταξης, δηλαδή τον προσδιορισμό της τοπολογίας των κόμβων και κλάδων, για τη διαμόρφωση του μαθηματικού μοντέλου του δικτύου, και στη συνέχεια τη διαμόρφωση των σεναρίων φόρτισης του δικτύου.

5.4.1 Περιγραφή Νέου δικτύου

Φράστα

Η τροφοδοσία του δικτύου διανομής γίνεται από δύο δεξαμενές, εντός του οικισμού.

Η μία δεξαμενή βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του οικισμού και σε υψόμετρο +408μ. Πρόκειται για την προϋπάρχουσα δεξαμενή του παλαιού δικτύου που κρίνεται προσφορότερο να συντηρηθεί καταλλήλως και να αποτελέσει εκ νέου τον ρυθμιστικό όγκο του νέου εσωτερικού δικτύου. Στα πλαίσια της αντιμετώπισης των υψηλών υδροστατικών πιέσεων, που μελετούνται σε συνθήκες στάσης του δικτύου, προτείνεται η κατασκευή ενδιάμεσης δεξαμενής και σε απόλυτο υψόμετρο +320μ. Οι δύο δεξαμενές, επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ανεξάρτητου κεντρικού αγωγού από HDPE, με διάμετρο $\varnothing 110$ εξασφαλίζοντας έτσι την ανεξαρτησία των υποτμημάτων του δικτύου. Η νέα δεξαμενή χωροθετείται κατάλληλα πληροί κάθε προδιαγραφή ένταξής της με τον περιβάλλοντα χώρο. Οι δεξαμενές εξυπηρετούν αντίστοιχα κατοικίες με μέγιστη υψομετρική διαφορά τα 105μ και τα 83μ.

Το δίκτυο διανομής εξυπηρετεί έκταση περίπου 287 στρεμμάτων και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μερικό κυκλοφορικό, με ακτινωτές απολήξεις. Στα δυτικά εκτείνεται και σε περιοχές με πολύ μικρό υψόμετρο. Ο κεντρικός αγωγός του δικτύου είναι από HDPE διαμέτρου $\varnothing 110$ και συνδέεται με τον τροφοδοτικό αγωγό. Όλοι οι άλλοι αγωγοί του δικτύου είναι ίδιου υλικού διαμέτρου 90. Στο δίκτυο είναι συνδεδεμένοι πυροσβεστικοί κρουνοί (δύο κρουνοί σε κάθε ανεξάρτητο υποτμήμα του δικτύου), για τυχούσα ανάγκη κατάσβεσης πυρκαγιάς. Οι κρουνοί είναι τοποθετημένοι στα σημεία του οικισμού που κρίνονται πλέον κατάλληλα ως προς την εγγύτητα και την πρόσβασή τους (είσοδοι οικισμού, κεντρική πλατεία, κεντρικοί κόμβοι περιφερειακού). Διατάξεις αεραξαγωγών και εκκενωτών τοποθετούνται για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση του δικτύου. Προς αντιμετώπιση των υψηλών υδροστατικών πιέσεων κυρίως κατά τα χρονικά διαστήματα μηδενικής ζήτησης προβλέπονται βαλβίδες μείωσης πίεσεως PRV, εξαιρουμένων κόμβων πυρόσβεσης του δικτύου όπου υψηλή πίεση είναι και επιθυμητή. Η ανθεκτικότητα των αγωγών σε πιέσεις επιλέγεται βάσει των ασκούμενων πιέσεων στο δίκτυο. Για την πλειονότητα των τμημάτων του αγωγού 10atm καλύπτουν τις απαιτήσεις του δικτύου Φραστών, ενώ για ένα τμήμα 1,5 km απαιτείται αγωγός 16atm.

110/10ατμ	236
90/10ατμ	5381
90/16ατμ	1418
ΣΥΝΟΛΟ	7035

Κόμβοι	Συντρέχοντες Αγωγοί	Υψόμετρο (m)	Στατική Πίεση (m)	Σπίτια ανα κόμβο	Κρουνός
1	Δ1-1, 1-2, 1-9	372	36	4	0
2	2-1, 2-3, 2-4	361	47	10	0
3	3-2, 3-4, 3-Κρ1	346	62	3	0
4	4-2, 4-3, 4-5	314	94	4	0
5	5-4, 5-6, 5-Κρ1, 5-7	320	88	6	0
6	6-5	308	100	3	0
7	7-5, 7-8	303	105	10	0
8	8-7	336	72	4	0
9	9-1, 9-10	342	66	9	0
10	10-9, 10-11	306	102	3	0
11	11-10	338	70	3	0
ΚΡ1	Κρ1-3, Κρ1-5	328	80	7	1
ΚΡ4	Κρ4-5, Κρ4-20	289	119	0	1
			SUM	66	

Πίνακας 3: Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - πάνω τμήμα δικτύου - Φράστα

Κόμβοι	Συντρέχοντες Αγωγοί	Υψόμετρο (m)	Στατική Πίεση	Σπίτια ανα κόμβο	Κρουνός
12	Δ2-12, 12-13, 12-Κρ2	287	33	5	0
13	13-12	292	28	2	0
14	Δ2-14, 14-15	302	18	6	0
15	15-14, 15-16, 15-Κρ2	278	42	4	0
16	16-15, 16-17, 16-19	248	72	12	1
17	17-16, 17-18	237	83	1	0
18	18-17	245	75	1	0
19	19-16, 19-Κρ4	268	52	6	0
20	20-Κρ4	279	41	8	0
ΚΡ2	Κρ2-12, Κρ2-15	286	34	5	1
			SUM	50	

Πίνακας 4: Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - κάτω τμήμα δικτύου - Φράστα

Αγωγοί	Κόμβος εισόδου	Κόμβος εξόδου	Μήκος (m)	Ονομαστική διάμετρος	Υλικό
Δ1-1	Δ1	1	236	Φ110	HDPE
1-2	1	2	184	Φ90	HDPE
1-9	1	9	250	Φ90	HDPE
2-3	2	3	162	Φ90	HDPE
2-4	2	4	352	Φ90	HDPE
3-4	3	4	262	Φ90	HDPE
3-Κρ1	3	Κρ1	359	Φ90	HDPE
4-5	4	5	177	Φ90	HDPE
5-6	5	6	135	Φ90	HDPE
5-Κρ1	5	Κρ1	71	Φ90	HDPE
5-ΚΡ4	5	Κρ4	427	Φ90	HDPE
7-8	7	8	320	Φ90	HDPE
9-10	9	10	140	Φ90	HDPE
10-11	10	11	456	Φ90	HDPE
Κρ4-7	Κρ4	7	510	Φ90	HDPE

Πίνακας 5: Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος - πάνω τμήμα δικτύου - Φράστα

Αγωγοί	Κόμβος εισόδου	Κόμβος εξόδου	Μήκος (m)	Ονομαστική διάμετρος	Υλικό
Δ2-12	Δ2	12	338	Φ90	HDPE
12-13	12	13	218	Φ90	HDPE
12-Κρ2	12	Κρ2	95	Φ90	HDPE
14-Δ2	14	Δ2	206	Φ90	HDPE
14-15	14	15	262	Φ90	HDPE
15-16	15	16	300	Φ90	HDPE
15-Κρ2	15	Κρ2	127	Φ90	HDPE
16-17	16	17	241	Φ90	HDPE
16-19	16	19	370	Φ90	HDPE
17-18	17	18	358	Φ90	HDPE
19-20	19	20	479	Φ90	HDPE

Πίνακας 6: Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος - κάτω τμήμα δικτύου - Φράστα

Κτιστάδες

Η τροφοδοσία του δικτύου διανομής γίνεται από δύο δεξαμενές, εντός του οικισμού. Η μία δεξαμενή βρίσκεται στο βόρειο-δυτικό τμήμα του οικισμού και σε υψόμετρο +821μ. Πρόκειται για την προϋπάρχουσα δεξαμενή του παλαιού δικτύου που κρίνεται προσηγορότερο να συντηρηθεί καταλλήλως και να αποτελέσει εκ νέου τον ρυθμιστικό όγκο του νέου εσωτερικού δικτύου. Στα πλαίσια της αντιμετώπισης των υψηλών υδροστατικών πιέσεων, που μελετούνται σε συνθήκες στάσης του δικτύου, προτείνεται η κατασκευή ενδιάμεσης δεξαμενής και σε απόλυτο υψόμετρο +743μ. Οι δύο δεξαμενές, επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ανεξάρτητου κεντρικού αγωγού από HDPE, με διάμετρο $\varnothing 90$ εξασφαλίζοντας έτσι την ανεξαρτησία των υποτμημάτων του δικτύου. Η νέα δεξαμενή χωροθετείται κατάλληλα και πληροί κάθε προδιαγραφή ένταξής της με τον περιβάλλοντα χώρο. Οι δεξαμενές εξυπηρετούν αντίστοιχα κατοικίες με μέγιστη υψομετρική διαφορά τα 94μ. και τα 63μ.

Το δίκτυο διανομής εξυπηρετεί έκταση περίπου 203 στρεμμάτων και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μερικό κυκλοφορικό, με ακτινωτές απολήξεις. Στα δυτικά εκτείνεται και σε περιοχές με πολύ μικρό υψόμετρο. Ο κεντρικός αγωγός του δικτύου είναι από HDPE διαμέτρου $\varnothing 125$ και συνδέεται με τον τροφοδοτικό αγωγό. Όλοι οι άλλοι αγωγοί του δικτύου είναι ίδιου υλικού διαμέτρου $\varnothing 90$, $\varnothing 75$ και $\varnothing 63$. Στο δίκτυο είναι συνδεδεμένοι πυροσβεστικοί κρουνοί (τρεις κρουνοί στο ορεινό υποτμήμα του δικτύου και ένας στα κατώτερα υψόμετρα), για τυχούσα ανάγκη κατάσβεσης πυρκαγιάς. Οι κρουνοί είναι τοποθετημένοι στα σημεία του οικισμού που κρίνονται πλέον κατάλληλα ως προς την εγγύτητα και την πρόσβασή τους (είσοδοι οικισμού, κεντρική πλατεία, κεντρικοί κόμβοι περιφερειακού, τουριστικές υποδομές). Διατάξεις αεραγωγών και εκκενωτών τοποθετούνται για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση του δικτύου. Προς αντιμετώπιση των υψηλών υδροστατικών πιέσεων κυρίως κατά τα χρονικά διαστήματα μηδενικής ζήτησης προβλέπονται βαλβίδες μείωσης πίεσης PRV, εξαιρουμένων κόμβων πυρόσβεσης του δικτύου όπου υψηλή πίεση είναι και επιθυμητή. Η ανθεκτικότητα των αγωγών σε πιέσεις επιλέγεται βάσει των ασκούμενων πιέσεων στο δίκτυο. Για το σύνολο των τμημάτων του αγωγού 10atm καλύπτουν τις απαιτήσεις του δικτύου Κτιστάδων σε αντίθεση με αυτό των Φραστών.

125/10atm	2119
90/10atm	672
75/10atm	212
63/10atm	3012
ΣΥΝΟΛΟ	6015

Κόμβοι	Συντρέχοντες Αγωγοί	Υψόμετρο (m)	Στατική Πίεση (m)	Σπίτια ανα κόμβο	Κρουνός
1	Δ1-1, 1-2, 1-6, 1-KP1	762	59	8	0
2	2-1, 2-3	766	55	14	0
3	3-2, 3-4	741	80	10	0
4	4-3, 4-5, 4-6	744	77	10	0
5	5-4	727	94	12	0
6	6-1, 6-4, 6-7	753	68	9	0
7	7-6	730	91	17	0
8	8-KP2	796	25	20	0
9	9-KP3	749	72	3	0
10	10-11, 10-12, 10-KP3	734	87	9	0
11	11-10	749	72	4	0
12	12-10	730	91	7	0
KP1	KP1-1, KP1-KP2	743	78	4	1
KP2	KP2-8, KP2-KP1, KP2-KP3	777	44	0	1
KP3	KP3-9, KP3-10, KP3-KP2	744	77	0	1
			SUM	127	-

Πίνακας 7: Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - πάνω τμήμα δικτύου – Κτιστάδες

Κατά την μελέτη ενός δικτύου ύδρευσης πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ο χρόνος ζωής του, δηλαδή το χρονικό διάστημα για το οποίο το δίκτυο θα βρίσκεται σε λειτουργία. Η περίοδος σχεδιασμού επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες.:

- Το αρχικό κόστος
- Η ευκολία με την οποία μπορεί να επεκταθεί το δίκτυο στο μέλλον.
- Η τεχνική παλαιώση του, δηλαδή η πιθανότητα να αχρηστευθεί από την εμφάνιση πιο αποδοτικών συστημάτων ύδρευσης
- Αναμενόμενη αύξηση πληθυσμού
- Επιτόκιο της αγοράς

Η περίοδος του σχεδιασμού μεγαλώνει όταν το έργο έχει αντοχή στον χρόνο, όταν η επέκταση του είναι δύσκολη και δαπανηρή, όταν το επιτόκιο της αγοράς είναι χαμηλό, όταν ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι αργός και τέλος, όταν η μελέτη του κατά την λειτουργία του δικτύου είναι ικανοποιητική. Στην δεδομένη μελέτη σχεδιάζεται έργο εσωτερικού δικτύου για τυπική διάρκεια ζωής 40 ετών.

Κόμβοι	Συντρέχοντες Αγωγοί	Υψόμετρο (m)	Στατική Πίεση (m)	Σπίτια ανα κόμβο	Κρουνός
13	Δ2-13, 13-ΚΡ4, 13-22	722	21	9	0
14	14-ΚΡ4	696	47	3	0
15	15-16, 15-19, 15-ΚΡ4	703	40	12	0
16	16-15, 16-17, 16-18	681	62	3	0
17	17-16	681	62	3	0
18	18-16	680	63	3	0
19	19-15, 19-20, 19-21	701	42	5	0
20	20-19	704	39	7	0
21	21-19, 21-22, 21-23	706	37	10	0
22	22-13, 22-21, 22-23	710	33	6	0
23	23-21, 23-22, 23-24	720	23	6	0
24	24-23	723	20	3	0
ΚΡ4	ΚΡ4-13, ΚΡ4-14, ΚΡ4-15	707	36	12	1
			SUM	82	-

Πίνακας 8: Κόμβοι – Υψόμετρο – Στατική Πίεση - κάτω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες

Αγωγοί	Κόμβος εισόδου	Κόμβος εξόδου	Μήκος (m)	Ονομαστική διάμετρος	Υλικό
Δ1-1	Δ1	1	378	Φ125	HDPE
1-2	1	2	370	Φ63	HDPE
1-6	1	6	149	Φ63	HDPE
1-ΚΡ1	1	ΚΡ1	383	Φ125	HDPE
2-3	2	3	196	Φ63	HDPE
3-4	3	4	109	Φ63	HDPE
4-5	4	5	83	Φ63	HDPE
4-6	4	6	123	Φ63	HDPE
6-7	6	7	105	Φ63	HDPE
8-ΚΡ2	8	ΚΡ2	212	Φ75	HDPE
9-ΚΡ3	9	ΚΡ3	117	Φ63	HDPE
10-11	10	11	114	Φ63	HDPE
10-12	10	12	134	Φ63	HDPE
10-ΚΡ3	10	ΚΡ3	258	Φ63	HDPE
ΚΡ1-ΚΡ2	ΚΡ1	ΚΡ2	783	Φ125	HDPE
ΚΡ2-ΚΡ3	ΚΡ2	ΚΡ3	499	Φ90	HDPE

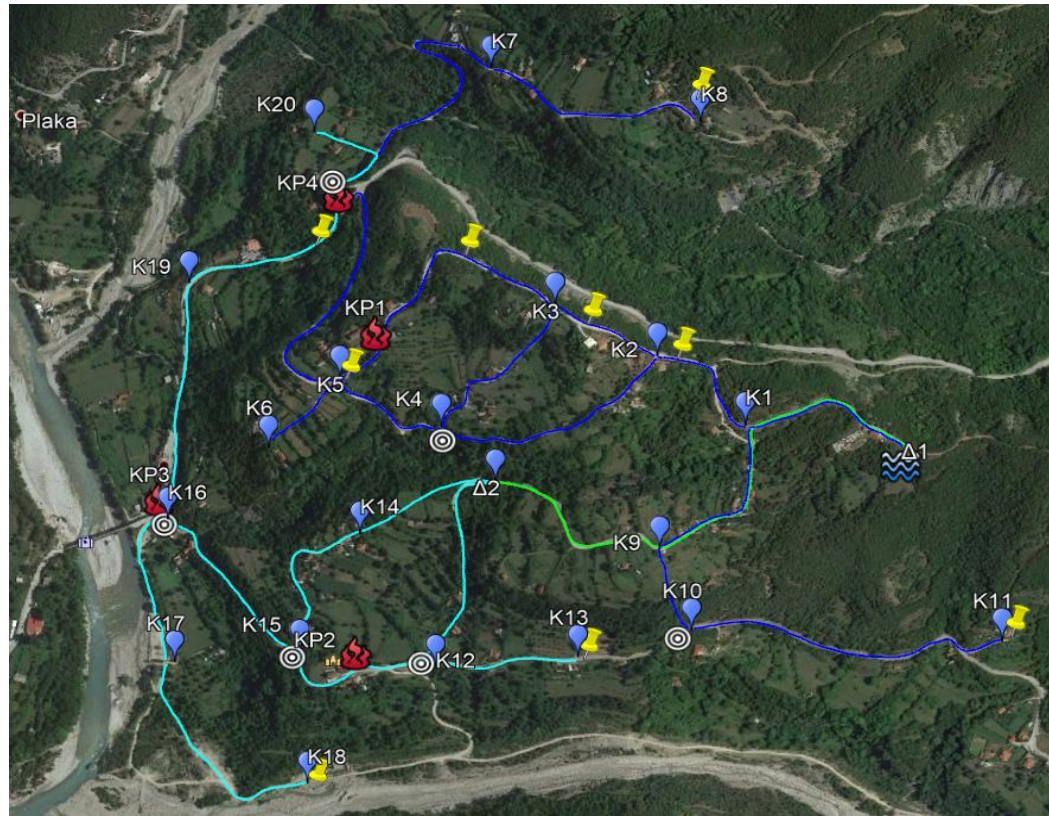
Πίνακας 9: Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος - πάνω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες

Αγωγοί	Κόμβος εισόδου	Κόμβος εξόδου	Μήκος (m)	Ονομαστική διάμετρος	Υλικό
Δ2-13	Δ2	13	575	Φ125	HDPE
13-ΚΡ4	13	ΚΡ4	173	Φ90	HDPE
13-22	13	22	165	Φ63	HDPE
14-ΚΡ4	14	ΚΡ4	112	Φ63	HDPE
15-16	15	16	103	Φ63	HDPE
15-19	15	19	151	Φ63	HDPE
15-ΚΡ4	15	ΚΡ4	20	Φ63	HDPE
16-17	16	17	48	Φ63	HDPE
16-18	16	18	136	Φ63	HDPE
19-20	19	20	86	Φ63	HDPE
19-21	19	21	112	Φ63	HDPE
21-22	21	22	36	Φ63	HDPE
21-23	21	23	134	Φ63	HDPE
22-23	22	23	115	Φ63	HDPE
23-24	23	24	36	Φ63	HDPE

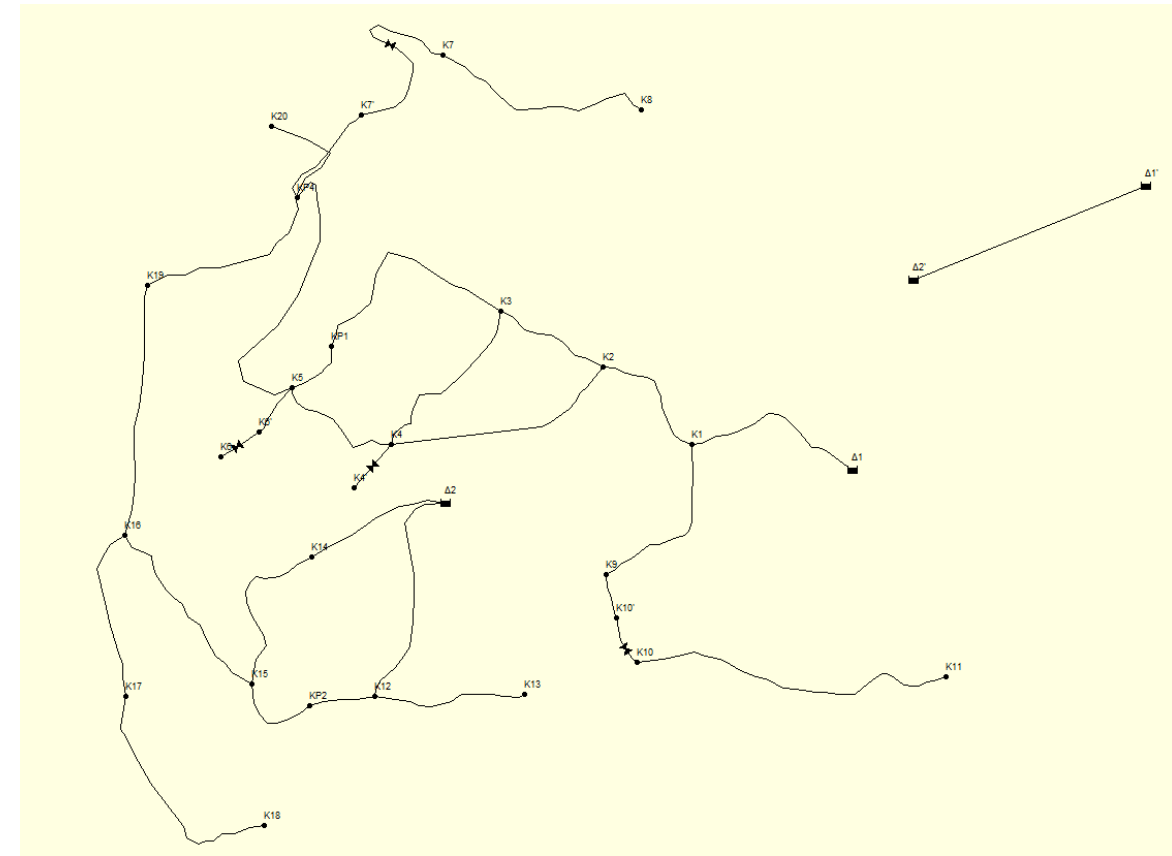
Πίνακας 10: Αγωγοί – Μήκος – Ονομαστική Διάμετρος - κάτω τμήμα δικτύου - Κτιστάδες

5.4.2 Σχηματική Διάταξη Νέων Δικτύων

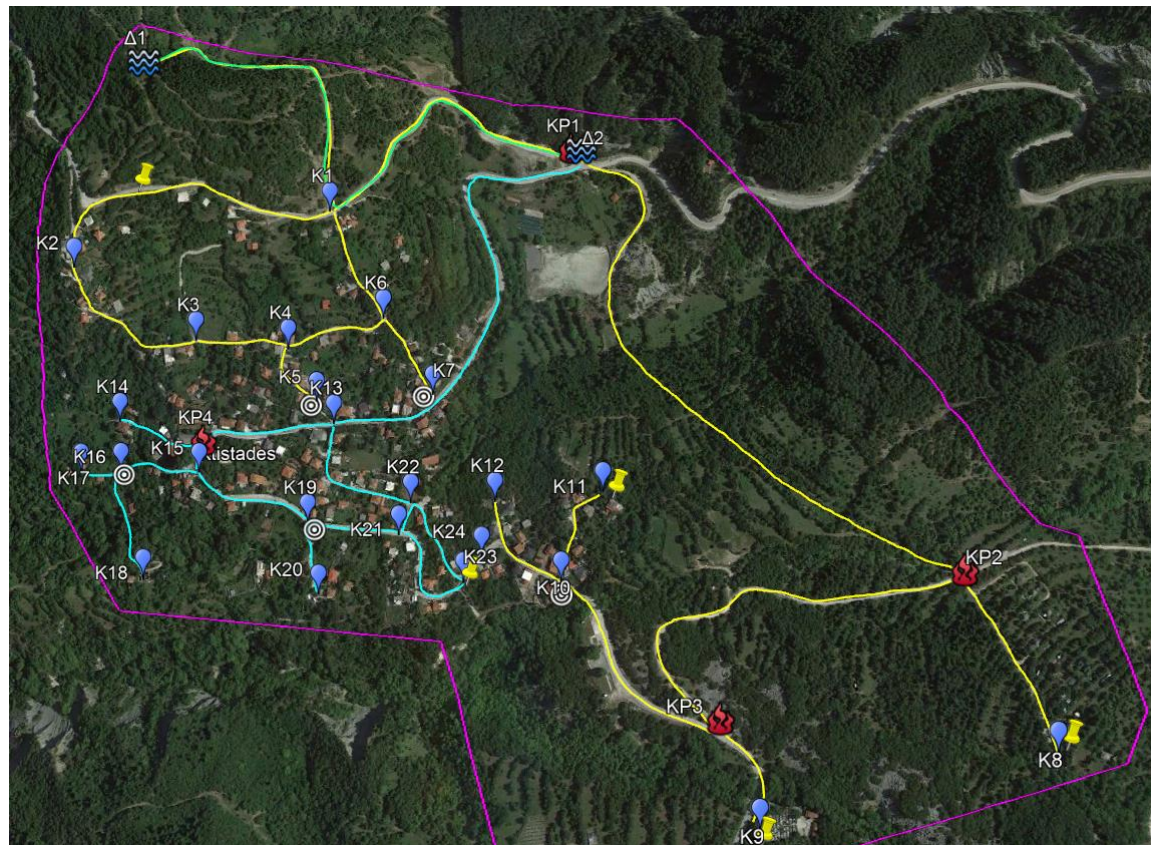
Με την βοήθεια αεροφωτογραφιών που λήφθηκαν μέσω της πλατφόρμας Google Earth και με την δυνατότητα επαλληλίας τους με τις σχεδιαστικές δυνατότητες που προσφέρονται από την εφαρμογή του EPANET, κατασκευάστηκαν τα δίκτυα στο Google Earth αρχικά και στο Epanet στη συνέχεια όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



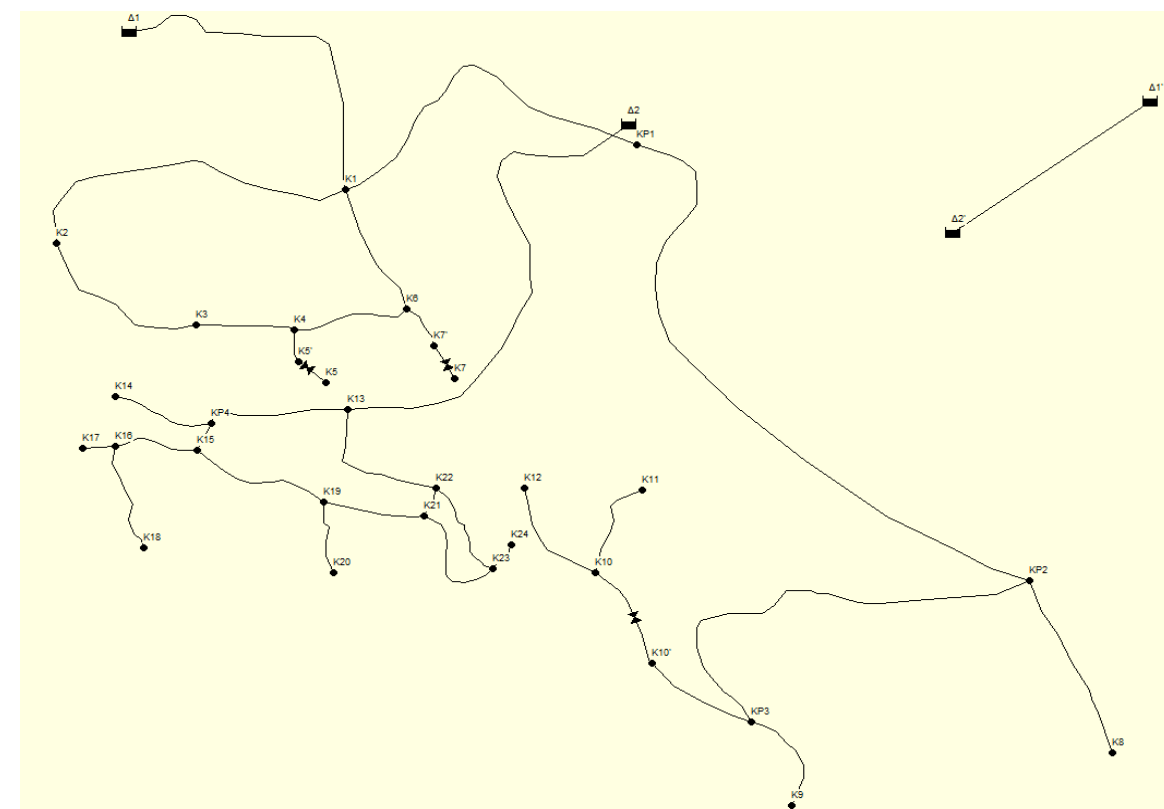
Εικόνα 5.5: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Φράστα – Google Earth



Εικόνα 5.7: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Φράστα - Epanet



Εικόνα 5.6: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Κτιστάδες – Google Earth



Εικόνα 5.8: Σχηματική Απεικόνιση νέου δικτύου – Κτιστάδες - Epanet

Συνολικά οι παροχές του πρωτεύοντος δικτύου πάνω στις οποίες θα βασιστεί η μελέτη είναι:

- συνολικά 23 και οι σωλήνες είναι 27 (Φράστα).
- συνολικά 28 και οι σωλήνες είναι 32 (Κτιστάδες).

Τα σημεία που προέκυψαν από την αρχική αποτύπωση των δικτύων στο Google Earth εισήχθησαν σε σχεδιαστικό πρόγραμμα (EPANET) και συσχετίστηκαν με την υπό σχεδιασμό υδραυλική οριζοντιογραφία του δικτύου.

Εντοπίστηκαν οι κόμβοι του δικτύου, ως τα σημεία όπου συμβάλλουν αγωγοί, σημεία αλλαγής διατομής αγωγού ή αλλαγής διεύθυνσης και σε τερματικά αγωγών και προσδιορίστηκαν οι κλάδοι του δικτύου. Οι τελικές μορφές των μοντέλων φαίνεται στις Εικόνες 5.5 – 5.8 .

Σχετικά με τη τραχύτητα των αγωγών, για αγωγούς από HDPE η βιβλιογραφία δίνει τραχύτητα, $k=0.05-0.1\text{mm}$. Λόγω του οριζοντα σχεδιασμού του δικτύου (40 χρόνια διάρκεια ζωής), λαμβάνεται υπόψη η παλαιότητα του δικτύου και έγινε η παραδοχή ότι για τους σωλήνες από HDPE η τραχύτητα είναι 1.0mm . Στους Πίνακες 9 και 10 για τον οικισμό Κτιστάδες και στους Πίνακες 5 και 6 για τον οικισμό των Φραστών παρουσιάζονται οι αγωγοί με το μήκος, τη διάμετρο, το υλικό και το συντελεστή τραχύτητας που τους αντιστοιχούν.

5.4.3 Παραδοχές Υδραυλικών Υπολογισμών και Σενάρια Φόρτισης

Για την εκτίμηση της ζήτησης του δικτύου ανά κόμβο λαμβάνονται υπόψη η οικιακή χρήση του μόνιμου πληθυσμού, εποχιακή χρήση λόγω παραθεριστών, η χρήση από τουριστικές εγκαταστάσεις, η δημόσια και δημοτική χρήση νερού, η μη οικιακή μικρής κλίμακας γεωργική χρήση καθώς επίσης και το νερό που διατίθεται για πυρόσβεση. Βιομηχανική και βιοτεχνική χρήση νερού στις υπό μελέτη περιοχές δεν υφίστανται. Σε ένα λεπτομερέστερο φάσμα η οικιακή κατανάλωση εξαρτάται από:

- Κλιματικές συνθήκες
- Διαθεσιμότητα και ποιότητα νερού
- Βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο
- Κοινωνικά πρότυπα
- Τεχνολογίες οικιακών συσκευών

Στα πλαίσια της δεδομένης προκαταρκτικής μελέτης δεν λαμβάνονται υπόψη.

Στη συνέχεια, με τη παραδοχή ειδικής κατανάλωσης $150\text{ l/κάτοικο/ημέρα}$ για τους μόνιμους κατοίκους, $200\text{ l/κάτοικο/ημέρα}$ για τους παραθεριστές και $250\text{ l/κάτοικο/ημέρα}$ για τον τουριστικό πληθυσμό (όπου αυτός εντοπίζεται) υπολογίζεται η συνολική ημερήσια κατανάλωση και στη συνέχεια η μέση ημερήσια ζήτηση που απαιτείται από τον κόμβο.

Προκειμένου για ένα δίκτυο που καλύπτει υδατικές καταναλώσεις λόγω οικιστικών κυρίως χρήσεων μικρού πληθυσμού οι συντελεστές ημερήσιας και ωριαίας αιχμής μπορούν να ληφθούν ίσοι με 2.00, και 3.00 αντίστοιχα. Για τον τουριστικό πληθυσμό και παραθεριστών γίνεται μία αντίστοιχη εκτίμηση των συντελεστών, 1.20 και 1.50 αντίστοιχως. Βάσει αυτών των παραδοχών υπολογίζονται η ζήτηση ημερήσιας και ωριαίας αιχμής σε κάθε κόμβο.

Φράστα	Μόνιμοι	Παραθεριστών	Τουριστική(/κλίνη)	Σ	Ανα Σπίτι
$q(\text{L/d/κάτοικο})$	150	200	250	-	-
Πληθυσμός/κλίνες	88	260	-	-	-
Πληθυσμιακή Εξέλιξη(40 χρόνια)	88	260	-	348	-
Πληθυσμός Σχεδιασμού	88	260	-	348	-
QE (L/d)	13200	52000	-	65200	562.07
Ta (d)	365	93	93	-	-
Va (m3)	4818	4836	-	9654	83.22
λH	2	1.2	1.2	-	-
QH(L/d)	26400	62400	-	88800	765.52
λΩ	3	1.5	1.5	-	-
QΩ(L/s)	0.917	1.083	-	2	0.02
Κρουνός(L/s)	5	-	-	5	-

Πίνακας 11: Υπολογισμός παροχών για το δίκτυο - Φράστα

Κτιστάδες	Μόνιμοι	Παραθεριστών	Τουριστική(/κλίνη)	Σ	Ανα Σπίτι
$q(\text{L/d/κάτοικο})$	150	200	250	-	-
Πληθυσμός/κλίνες	127	443	76	-	-
Πληθυσμιακή Εξέλιξη(40 χρόνια)	127	443	-	570	2.73
Πληθυσμός Σχεδιασμού	127	443	-	570	-
QE (L/d)	19050	88600	19000	126650	666.58
Ta (d)	365	93	93	-	-
Va (m3)	6953.25	8239.8	1767	15193.05	79.96
λH	2	1.2	1.2	-	-
QH(L/d)	38100	106320	22800	144420	760.11
λΩ	3	1.5	1.5	-	-
QΩ(L/s)	1.323	1.846	0.396	3.169	0.02
Κρουνός(L/s)	5	-	-	5	-

Πίνακας 12: Υπολογισμός παροχών για το δίκτυο - Κτιστάδες

Στους Πίνακες 13 και 18 φαίνονται οι κόμβοι με τα μεγέθη σχεδιασμού που τους αντιστοιχούν.

Αρχικά τα δίκτυα επιλύονται και ελέγχονται για ένα σύνολο σεναρίων, τα οποία θεωρούνται ενδεικτικά για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του δικτύου. Το δίκτυο διανομής διαστασιολογείται για την επίλυση, με φόρτισή του με τη κατανάλωση ωριαίας αιχμής, ως το δυσμενέστερο σενάριο φόρτισης. Επίσης γίνεται έλεγχος για σενάρια μηχανικής αστοχίας ή πυρκαγιάς, τα οποία συνδυάζονται με τη μέση ημερήσια παροχή. Λόγω μικρής έκτασης των οικισμών, η ενεργοποίηση ενός κρίσιμου κρουνού (πλησιέστερου στη φωτιά), κρίνεται ικανή για την κατάσβεση της πυρκαγιάς. Στη δεδομένη μελέτη, και δεδομένου πως κρίθηκε ότι η λειτουργία ενός μεμονωμένου κρουνού είναι ικανή κατάσβεσης πυρκαγιάς, όλα τα σενάρια εξετάστηκαν βάσει της ωριαίας αιχμής ως δυσμενέστερη περίπτωση. Θεωρώντας ότι κρουνοί μπορούν να τοποθετηθούν στους κόμβους που παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες, για τον οικισμό των Φραστών και των Κτιστάδων αντίστοιχα, για λόγους προσβασιμότητας από πυροσβεστικό όχημα, προέκυψε ως δυσμενέστερο σενάριο η ενεργοποίηση:

- Του κρουνού KP3 για τα Φράστα, που θα εξυπηρετούσε τη κατάσβεση πυρκαγιάς σε περίπτωση εκδήλωσής της στο δυτικό τμήμα του οικισμού. (πλησίον του κέντρου Φραστών, κόμβος γέφυρας)
- Των κρουνών KP2 και KP3 για τις Κτιστάδες, που θα εξυπηρετούσε τη κατάσβεση πυρκαγιάς σε περίπτωση εκδήλωσής της στο νότιο-ανατολικό τμήμα του οικισμού (τουριστικά καταλύματα).

Οι υπολογισμοί σε κάθε σενάριο γίνονται με την υπόθεση βάθους νερού στις δύο δεξαμενές 4.00 m. Οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται μέσω του προγράμματος EPANET 2, με χρήση των εξισώσεων Darcy-Weisbach και Colebrook-White, και η τραχύτητα των αγωγών θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνει τις τοπικές απώλειες που υπάρχουν στα εξαρτήματα, στις συνδέσεις και στις καμπύλες του δικτύου. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Ο έλεγχος των μέγιστων πιέσεων γίνεται με την υπόθεση μηδενικής κατανάλωσης, οπότε υπολογίζεται η στατική πίεση στα διάφορα σημεία του δικτύου, η οποία θα πρέπει να μην ξεπερνά τα περίπου 80m. Σχετικά με τις ελάχιστες απαιτούμενες

πιέσεις, λόγω του ότι εντοπίζονται κτίρια με μέχρι και δύο ορόφους στους υπό μελέτη οικισμούς, η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση καθορίζεται στα 16 - 17m.

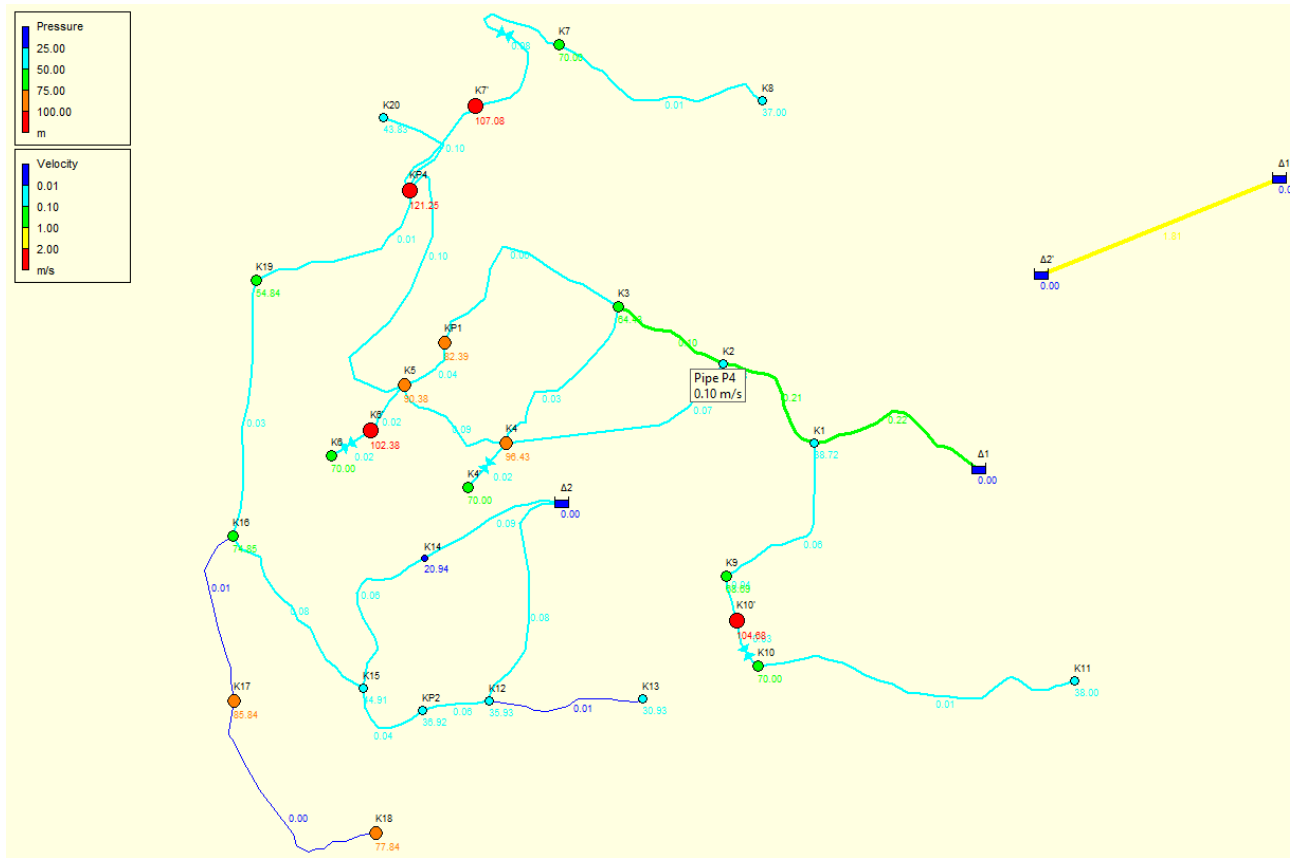
5.5 Αποτελέσματα Υδραυλικών Επιλύσεων του Δικτύου

5.5.1 Συνθήκες μέσης ημερήσιας κατανάλωσης - Φράστα

Για τις συνθήκες μέσης κατανάλωσης παρατηρούμε ότι στο δίκτυο αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις (K4, K6, K7, K10, K14). Θα πρέπει να τοποθετηθούν στο δίκτυο πιεζοθραυστικές συσκευές, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στις διάφορες οικιακές συσκευές.

Οι ταχύτητες ροής παρουσιάζουν μικρές τιμές κάτω από το όριο του 0.5m/sec στο νότιο-δυτικό μέρος του δικτύου. Γενικά παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν ακραίες τιμές στις ταχύτητες των αγωγών. Δηλαδή οι περισσότερες ταχύτητες είναι εντός των επιθυμητών ορίων, μεγαλύτερες των 0.5m/sec και μικρότερες των 1.5m/sec. Συμπεραίνουμε λοιπόν την επιτυχία του δικτύου όσο αφορά την ομαλή μεταφορά του νερού. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως οι εμφανίσεις μικρών ταχυτήτων στο δίκτυο ενδέχεται να δημιουργήσουν αποθέσεις φερτών υλικών. Δεν τίθεται πρόβλημα πολύ μεγάλων ταχυτήτων οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο υπερπιέσεων ενώ αυξάνουν σημαντικά και τις απώλειες ενέργειας.

Φόρτιση του δικτύου με μέγιστη ωριαία αιχμή



Εικόνα 5.9: Απεικόνιση υδραυλικής επίλυσης νέου δικτύου – Φράστα – Ερανεί

Η λειτουργία του δικτύου κατά τη μέγιστη ωριαία αιχμή παρουσιάζει ικανοποιητική λειτουργία, καθώς οι πιέσεις σε όλο το δίκτυο βρίσκονται στα επιθυμητά επίπεδα.

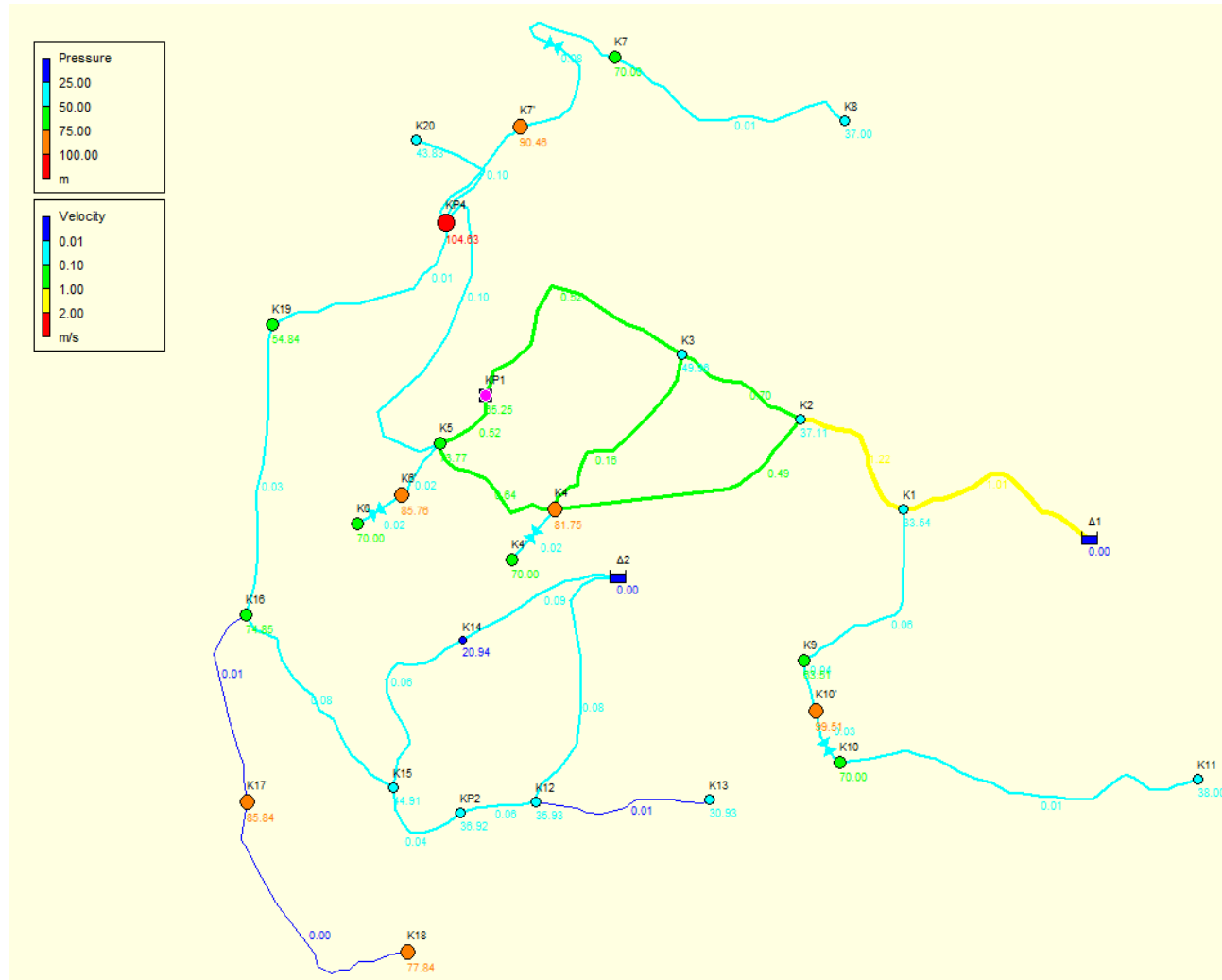
Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.07	410.72	38.72
Junc K2	0.17	410.48	49.48
Junc K3	0.05	410.43	64.43
Junc K4	0.00	410.43	96.43
Junc K5	0.10	410.38	90.38
Junc K6	0.05	378.00	70.00
Junc K7	0.17	373.00	70.00
Junc K8	0.07	373.00	37.00
Junc K9	0.16	410.69	68.69
Junc K10	0.05	376.00	70.00
Junc K11	0.05	376.00	38.00
Junc K12	0.09	322.93	35.93
Junc K13	0.03	322.93	30.93
Junc K14	0.10	322.94	20.94
Junc K15	0.07	322.91	44.91
Junc K16	0.21	322.85	74.85
Junc K17	0.02	322.84	85.84
Junc K18	0.02	322.84	77.84
Junc K19	0.10	322.84	54.84
Junc K20	0.07	322.83	43.83
Junc KP1	0.12	410.39	82.39
Junc KP2	0.09	322.92	36.92
Junc KP4	0.00	410.25	121.25
Junc K6'	0.05	410.38	102.38
Junc K7'	0.17	410.08	107.08
Junc K10'	0.05	410.68	104.68
Junc K4'	0.07	384.00	70.00
Resvr Δ1	-1.41	411.00	0.00
Resvr Δ2	-0.79	323.00	0.00
Resvr Δ1'	-6.19	411.00	0.00
Resvr Δ2'	6.19	323.00	0.00

Πίνακας 13: Παροχή – Υψόμετρο – Πίεση σε κάθε κόμβο - Φράστα

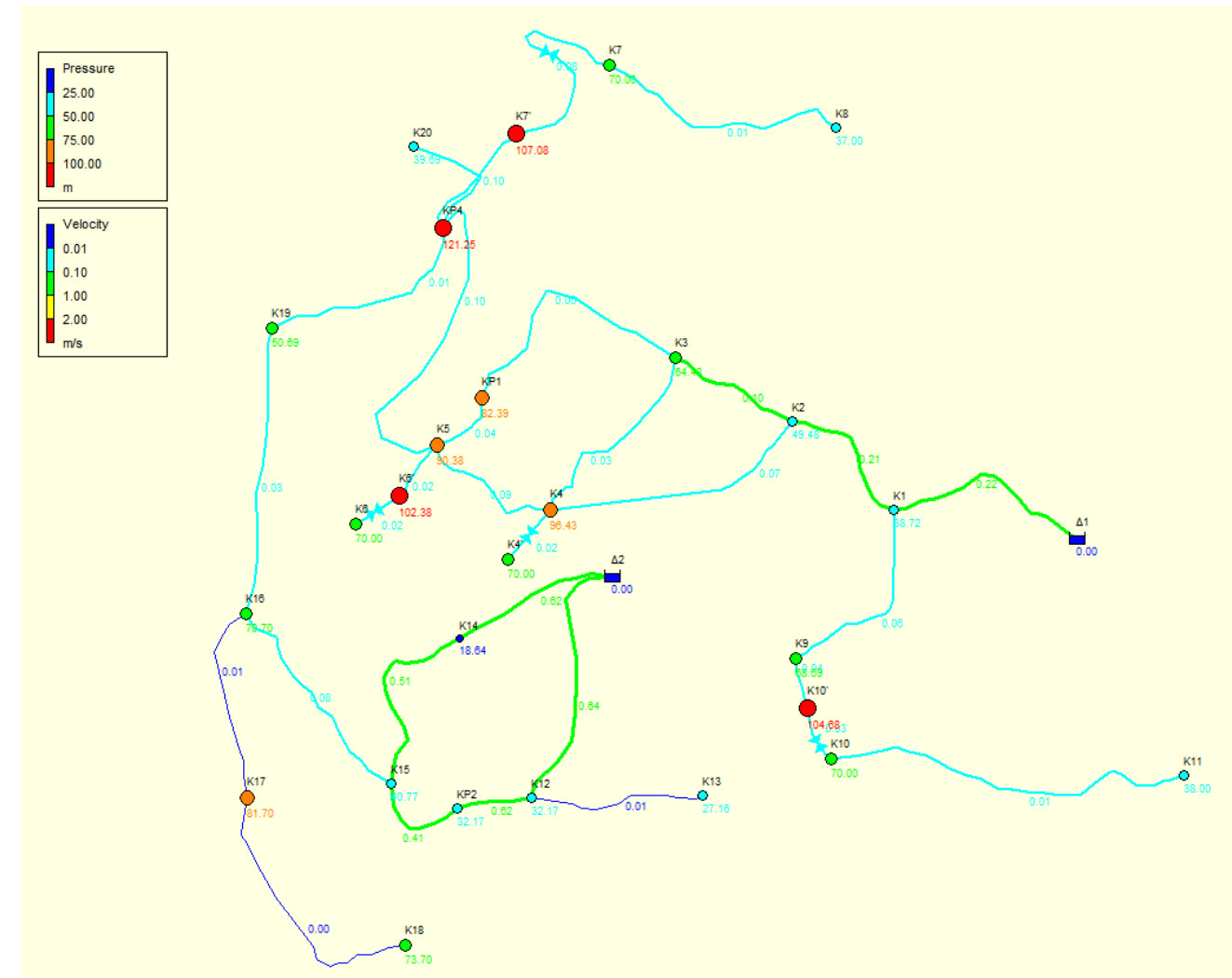
Έλεγχος του δικτύου σε σενάριο εκδήλωσης πυρκαγιάς

Ο έλεγχος γίνεται για την ενεργοποίηση μεμονωμένων κρουών στους κόμβους ΚΡ1, ΚΡ2, ΚΡ3 - Κ16, ΚΡ4 (εκδήλωση πυρκαγιάς στο ανάλογο τμήμα του οικισμού), με επιπλέον παροχή 5l/s, και προκύπτει ότι η πίεση σε όλους τους κόμβους είναι η επιθυμητή. Οι έλεγχοι έγιναν με χρήση της μέγιστης ωριαίας παροχής ως προς το δυσμενέστερο.

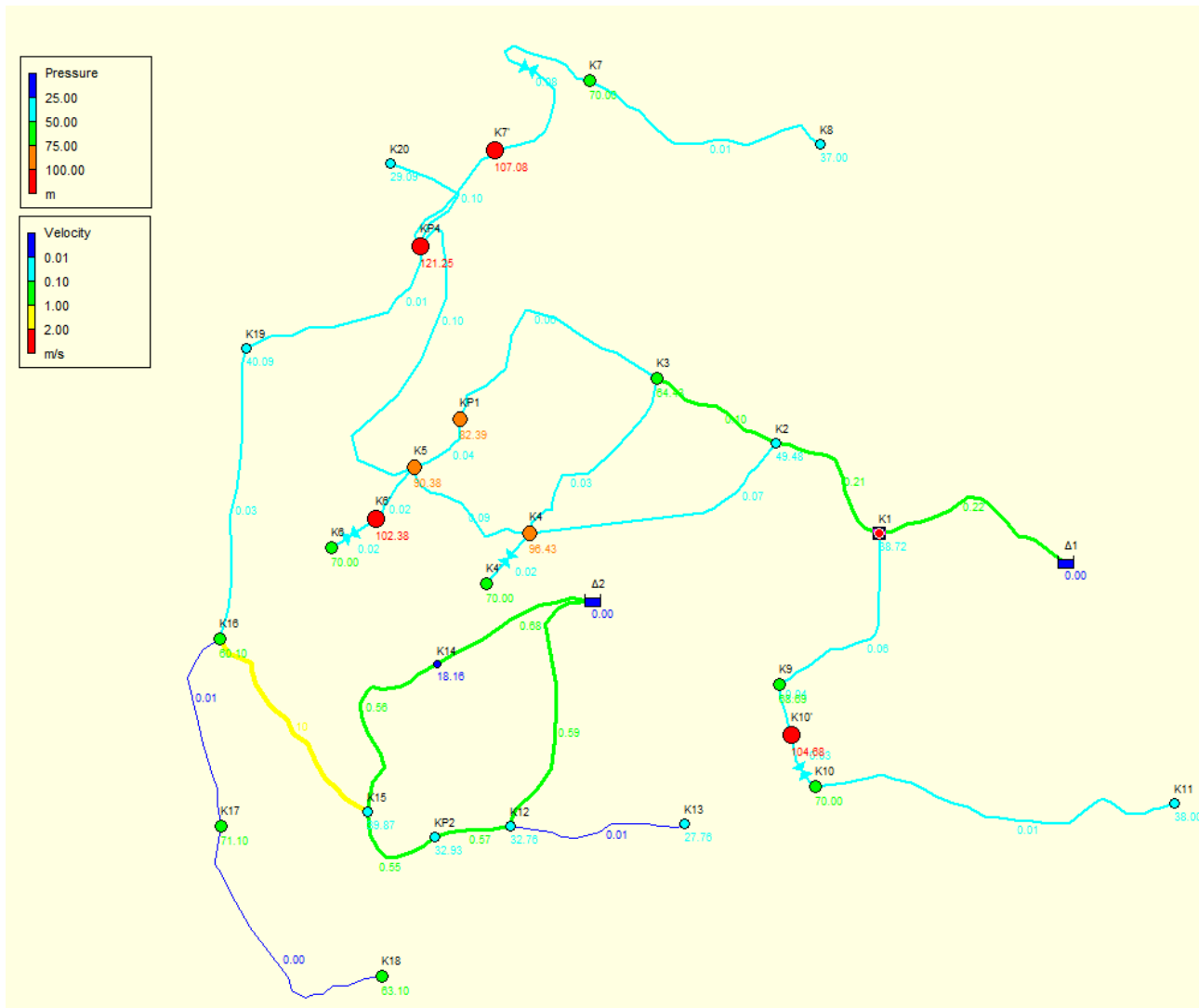
Όσον αφορά τις ταχύτητες του υδροδοτούμενου νερού εντός των αγωγών το δίκτυο παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά.



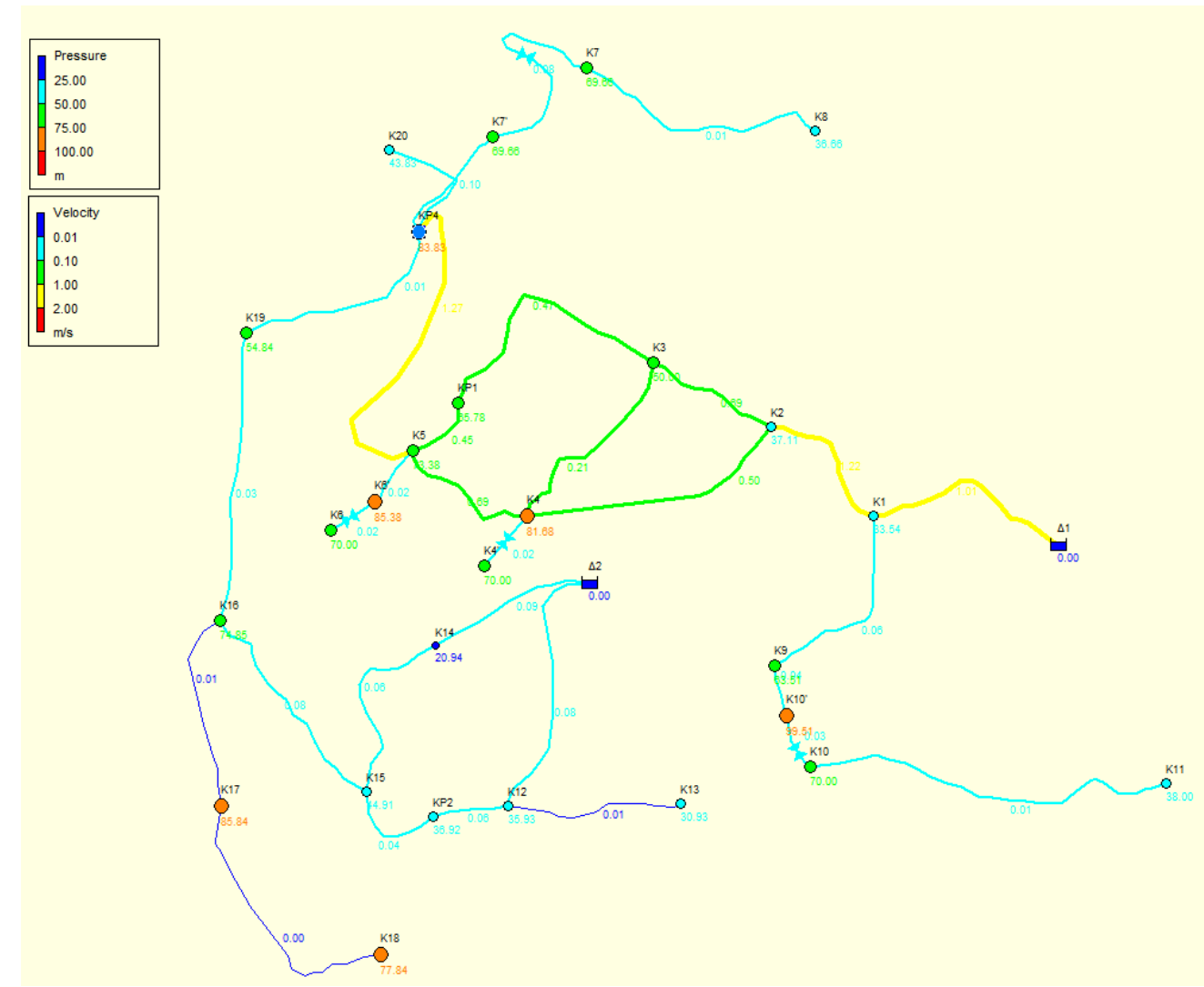
Εικόνα 5.10: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία κρουνού ΚΡ1



Εικόνα 5.11: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία κρουνού ΚΡ2



Εικόνα 5.12: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία κρουνού ΚΡ3-Κ16



Εικόνα 5.13: Απόκριση δικτύου Φραστών υπό την λειτουργία κρουνού ΚΡ4

Οι πίνακες ζήτησης, πιέσεων κόμβων και ταχυτήτων αγωγών παρουσιάζονται αντίστοιχα για κάθε σενάριο:

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.07	405.54	33.54
Junc K2	0.17	398.11	37.11
Junc K3	0.05	395.96	49.96
Junc K4	0.00	395.75	81.75
Junc K5	0.10	393.77	73.77
Junc K6	0.05	378.00	70.00
Junc K7	0.17	373.00	70.00
Junc K8	0.07	373.00	37.00
Junc K9	0.16	405.51	63.51
Junc K10	0.05	376.00	70.00
Junc K11	0.05	376.00	38.00
Junc K12	0.09	322.93	35.93
Junc K13	0.03	322.93	30.93
Junc K14	0.10	322.94	20.94
Junc K15	0.07	322.91	44.91
Junc K16	0.21	322.85	74.85
Junc K17	0.02	322.84	85.84
Junc K18	0.02	322.84	77.84
Junc K19	0.10	322.84	54.84
Junc K20	0.07	322.83	43.83
Junc KP1	5.12	393.25	65.25
Junc KP2	0.09	322.92	36.92
Junc KP4	0.00	393.63	104.63
Junc K6'	0.05	393.76	85.76
Junc K7'	0.17	393.46	90.46
Junc K10'	0.05	405.51	99.51
Junc K4'	0.07	384.00	70.00
Resvr Δ1	-6.41	411.00	0.00
Resvr Δ2	-0.79	323.00	0.00

Πίνακας 14: Φράστα λειτουργία κρουνού KP1

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.07	410.72	38.72
Junc K2	0.17	410.48	49.48
Junc K3	0.05	410.43	64.43
Junc K4	0.00	410.43	96.43
Junc K5	0.10	410.38	90.38
Junc K6	0.05	378.00	70.00
Junc K7	0.17	373.00	70.00
Junc K8	0.07	373.00	37.00
Junc K9	0.16	410.69	68.69
Junc K10	0.05	376.00	70.00
Junc K11	0.05	376.00	38.00
Junc K12	0.09	319.17	32.17
Junc K13	0.03	319.16	27.16
Junc K14	0.10	320.64	18.64
Junc K15	0.07	318.77	40.77
Junc K16	0.21	318.70	70.70
Junc K17	0.02	318.70	81.70
Junc K18	0.02	318.70	73.70
Junc K19	0.10	318.69	50.69
Junc K20	0.07	318.69	39.69
Junc KP1	0.12	410.39	82.39
Junc KP2	5.09	318.17	32.17
Junc KP4	0.00	410.25	121.25
Junc K6'	0.05	410.38	102.38
Junc K7'	0.17	410.08	107.08
Junc K10'	0.05	410.68	104.68
Junc K4'	0.07	384.00	70.00
Resvr Δ1	-1.41	411.00	0.00
Resvr Δ2	-5.79	323.00	0.00

Πίνακας 15: Φράστα λειτουργία κρουνού KP2

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.07	410.72	38.72
Junc K2	0.17	410.48	49.48
Junc K3	0.05	410.43	64.43
Junc K4	0.00	410.43	96.43
Junc K5	0.10	410.38	90.38
Junc K6	0.05	378.00	70.00
Junc K7	0.17	373.00	70.00
Junc K8	0.07	373.00	37.00
Junc K9	0.16	410.69	68.69
Junc K10	0.05	376.00	70.00
Junc K11	0.05	376.00	38.00
Junc K12	0.09	319.76	32.76
Junc K13	0.03	319.76	27.76
Junc K14	0.10	320.16	18.16
Junc K15	0.07	317.87	39.87
Junc K16	5.21	308.10	60.10
Junc K17	0.02	308.10	71.10
Junc K18	0.02	308.10	63.10
Junc K19	0.10	308.09	40.09
Junc K20	0.07	308.09	29.09
Junc KP1	0.12	410.39	82.39
Junc KP2	0.09	318.93	32.93
Junc KP4	0.00	410.25	121.25
Junc K6'	0.05	410.38	102.38
Junc K7'	0.17	410.08	107.08
Junc K10'	0.05	410.68	104.68
Junc K4'	0.07	384.00	70.00
Resvr Δ1	-1.41	411.00	0.00
Resvr Δ2	-5.79	323.00	0.00

Πίνακας 16: Φράστα λειτουργία κρουνού ΚΡ3-Κ16

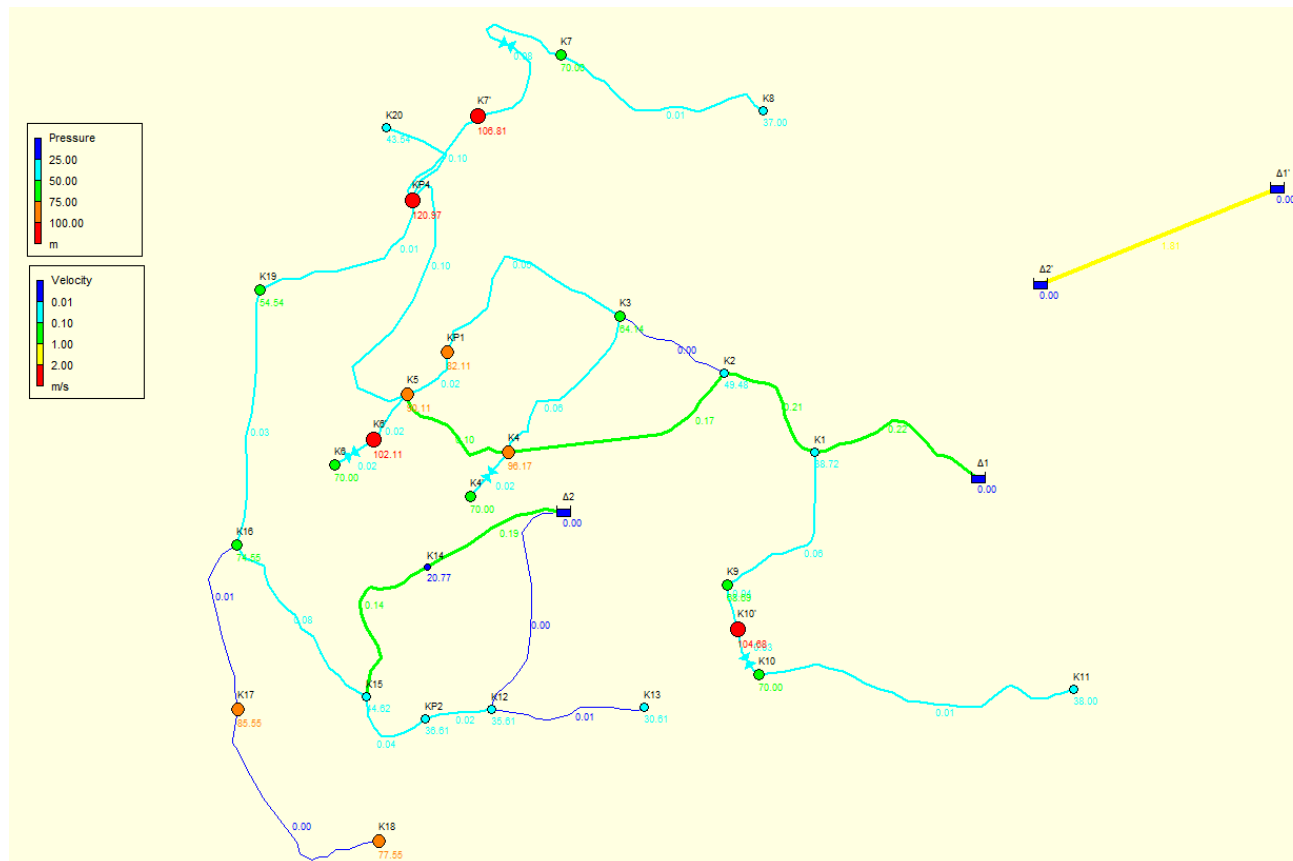
Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.07	405.54	33.54
Junc K2	0.17	398.11	37.11
Junc K3	0.05	396.00	50.00
Junc K4	0.00	395.68	81.68
Junc K5	0.10	393.38	73.38
Junc K6	0.05	378.00	70.00
Junc K7	0.17	372.66	69.66
Junc K8	0.07	372.66	36.66
Junc K9	0.16	405.51	63.51
Junc K10	0.05	376.00	70.00
Junc K11	0.05	376.00	38.00
Junc K12	0.09	322.93	35.93
Junc K13	0.03	322.93	30.93
Junc K14	0.10	322.94	20.94
Junc K15	0.07	322.91	44.91
Junc K16	0.21	322.85	74.85
Junc K17	0.02	322.84	85.84
Junc K18	0.02	322.84	77.84
Junc K19	0.10	322.84	54.84
Junc K20	0.07	322.83	43.83
Junc KP1	0.12	393.78	65.78
Junc KP2	0.09	322.92	36.92
Junc KP4	5.00	372.83	83.83
Junc K6'	0.05	393.38	85.38
Junc K7'	0.17	372.66	69.66
Junc K10'	0.05	405.51	99.51
Junc K4'	0.07	384.00	70.00
Resvr Δ1	-6.41	411.00	0.00
Resvr Δ2	-0.79	323.00	0.00

Πίνακας 17: Φράστα λειτουργία κρουνού ΚΡ4

Έλεγχος του δικτύου σε σενάριο θραύσης αγωγού

Από τους ελέγχους θραύσης αγωγών του δικτύου και σε συνθήκες κατανάλωσης ωριαίας αιχμής δεν παρουσιάζεται κάποιο λειτουργικό πρόβλημα. Οι πιέσεις σε όλους τους κόμβους διατηρούνται πάνω των επιθυμητών ορίων που επιβάλλουν τα διώροφα κτίρια, συνεπώς δεν εμφανίζεται πρόβλημα ούτε σε αυτό το σενάριο.

Κρίσιμοι αγωγοί θεωρήθηκαν αυτοί κατάντη του κόμβου K2 για το άνω δίκτυο και αμέσως κατάντη της δεξαμενής Δ2 για το κάτω δίκτυο. Τυπικά παρουσιάζεται:



Εικόνα 5.14: Κλειστός αγωγός K2-K3 (άνω δίκτυο) Δ2-K12 (κάτω δίκτυο)

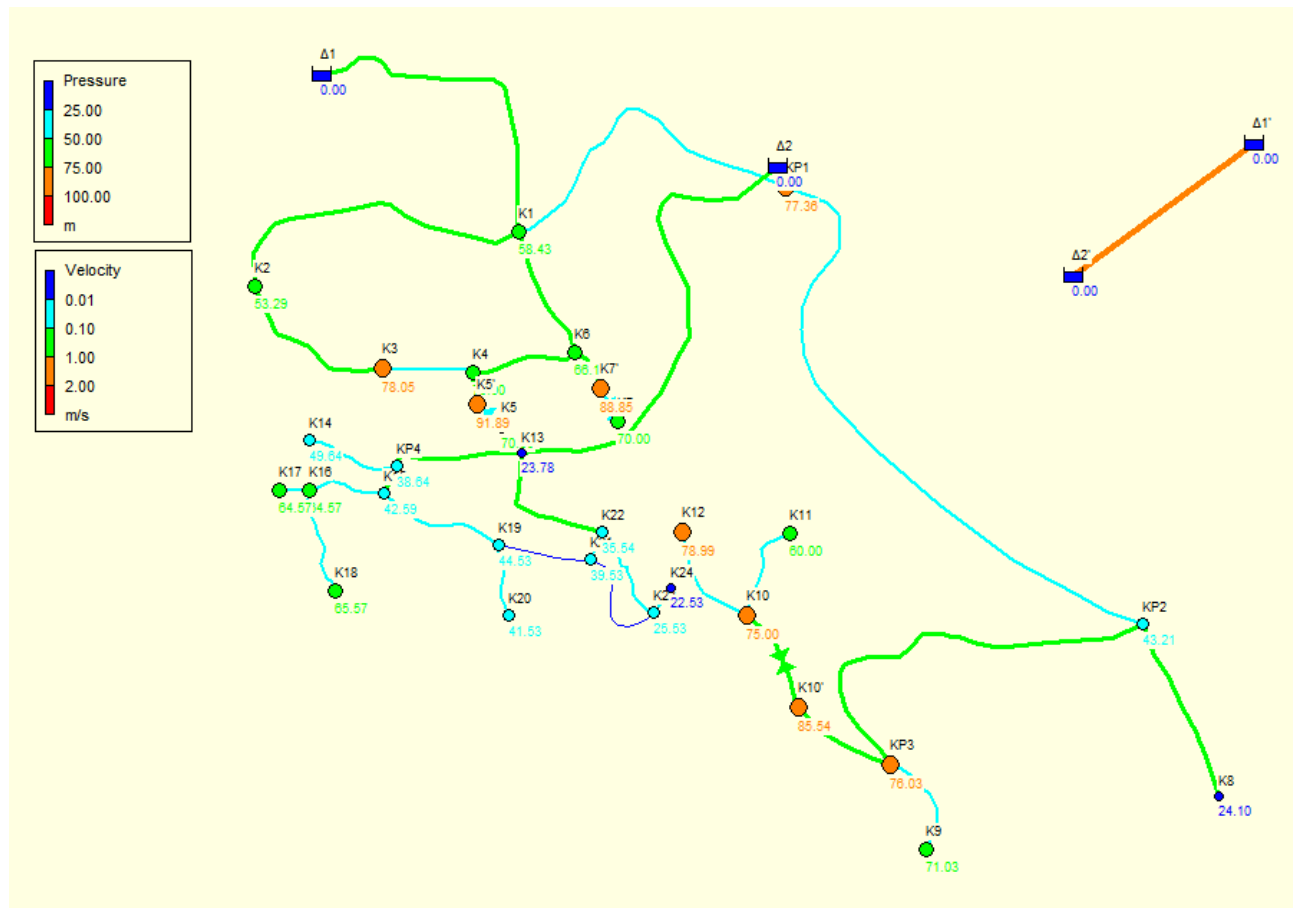
Να επισημανθεί πως υφίστανται κρισιμότεροι αγωγοί ήτοι ο αγωγός Δ1-Δ2 σύνδεσης των δύο συνεργαζόμενων δικτύων, ο αγωγός Δ1-K1 κύριος του άνω δικτύου Φραστών καθώς επίσης και αυτοί των ακτινωτών τμημάτων του δικτύου. Σοβαρή βλάβη στους ανωτέρω συνεπάγεται έλλειψη υδροδότησης μέχρι την επιδιόρθωσή τους.

5.5.2 Συνθήκες μέσης ημερήσιας κατανάλωσης - Κτιστάδες

Για τις συνθήκες μέσης κατανάλωσης παρατηρούμε ότι στο δίκτυο αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις, (K5, K7, K10, K12). Θα πρέπει να τοποθετηθούν στο δίκτυο πιεζοθραυστικές συσκευές, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στις διάφορες οικιακές συσκευές.

Οι ταχύτητες ροής παρουσιάζουν μικρές τιμές κάτω από το όριο του 0.5m/sec μόνο στο νότιο-κεντρικό τμήμα του δικτύου (K19-K21, K21-K23). Γενικά παρατηρούμε ότι ακραία τιμή ταχύτητας αγωγού (άνω του 1.5 m/s παρουσιάζεται μόνο στον αγωγό σύνδεσης μεταξύ των δύο δεξαμενών). Δηλαδή οι περισσότερες ταχύτητες είναι εντός των επιθυμητών ορίων, μεγαλύτερες των 0.5m/sec και μικρότερες των 1.5m/sec. Συμπεραίνουμε λοιπόν την επιτυχία του δικτύου όσο αφορά την ομαλή μεταφορά του νερού. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως οι εμφανίσεις μικρών ταχυτήτων στο δίκτυο ενδέχεται να δημιουργήσουν αποθέσεις φερτών υλικών. Δεν τίθεται πρόβλημα πολύ μεγάλων ταχυτήτων οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο υπερπίεσεων ενώ αυξάνουν σημαντικά και τις απώλειες ενέργειας. Ειδική μέριμνα μπορεί να ληφθεί για τον αγωγό σύνδεσης.

Φόρτιση του δικτύου με μέγιστη ωριαία αιχμή



Εικόνα 5.15: Απεικόνιση υδραυλικής επίλυσης νέου δικτύου – Κτιστάδες – Eranet

Η λειτουργία του δικτύου κατά τη μέγιστη ωριαία αιχμή παρουσιάζει ικανοποιητική λειτουργία, καθώς οι πιέσεις σε όλο το δίκτυο βρίσκονται στα επιθυμητά επίπεδα. (μικρότερη πίεση 22.53m)

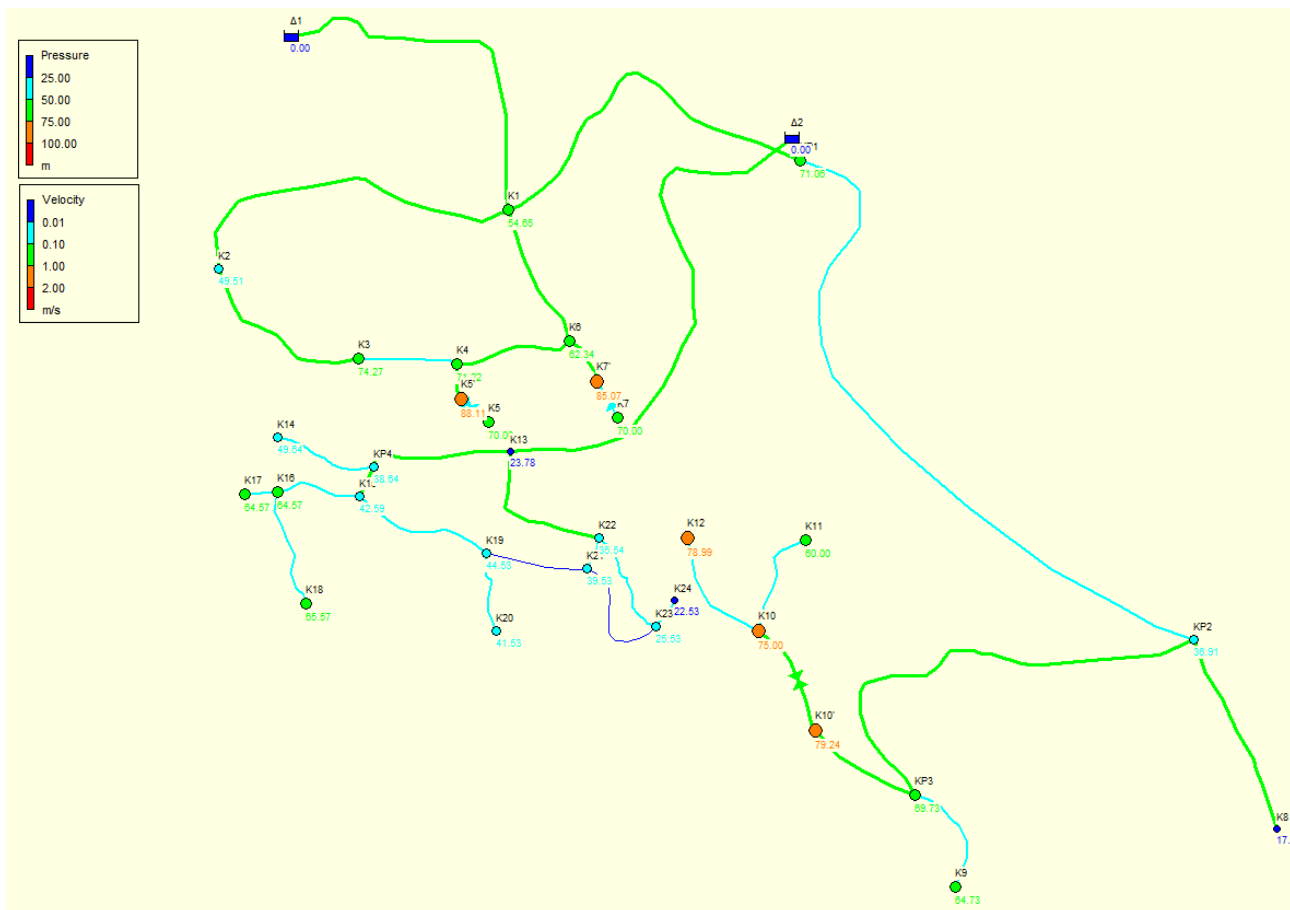
Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.13	820.43	58.43
Junc K2	0.23	819.29	53.29
Junc K3	0.17	819.05	78.05
Junc K4	0.17	819.00	75.00
Junc K5	0.20	797.00	70.00
Junc K6	0.15	819.12	66.12
Junc K7	0.28	800.00	70.00
Junc K8	0.40	820.10	24.10
Junc K9	0.05	820.03	71.03
Junc K10	0.15	809.00	75.00
Junc K11	0.07	809.00	60.00
Junc K12	0.12	808.99	78.99
Junc KP1	0.00	820.36	77.36
Junc KP2	0.00	820.21	43.21
Junc KP3	0.00	820.03	76.03
Junc K13	0.15	745.78	23.78
Junc K14	0.05	745.64	49.64
Junc K15	0.20	745.59	42.59
Junc K16	0.05	745.57	64.57
Junc K17	0.05	745.57	64.57
Junc K18	0.05	745.57	65.57
Junc K19	0.08	745.53	44.53
Junc K20	0.12	745.53	41.53
Junc K21	0.17	745.53	39.53
Junc K22	0.10	745.54	35.54
Junc K23	0.10	745.53	25.53
Junc K24	0.05	745.53	22.53
Junc KP4	0.20	745.64	38.64
Junc K5'	0.20	818.89	91.89
Junc K7'	0.28	818.85	88.85
Junc K10'	0.15	819.54	85.54
Resvr Δ1	-2.75	821.00	0.00
Resvr Δ2	-1.37	746.00	0.00
Resvr Δ1'	-9.39	821.00	0.00
Resvr Δ2'	9.39	746.00	0.00

Πίνακας 18: Παροχή – Υψόμετρο – Πίεση σε κάθε κόμβο - Κτιστάδες

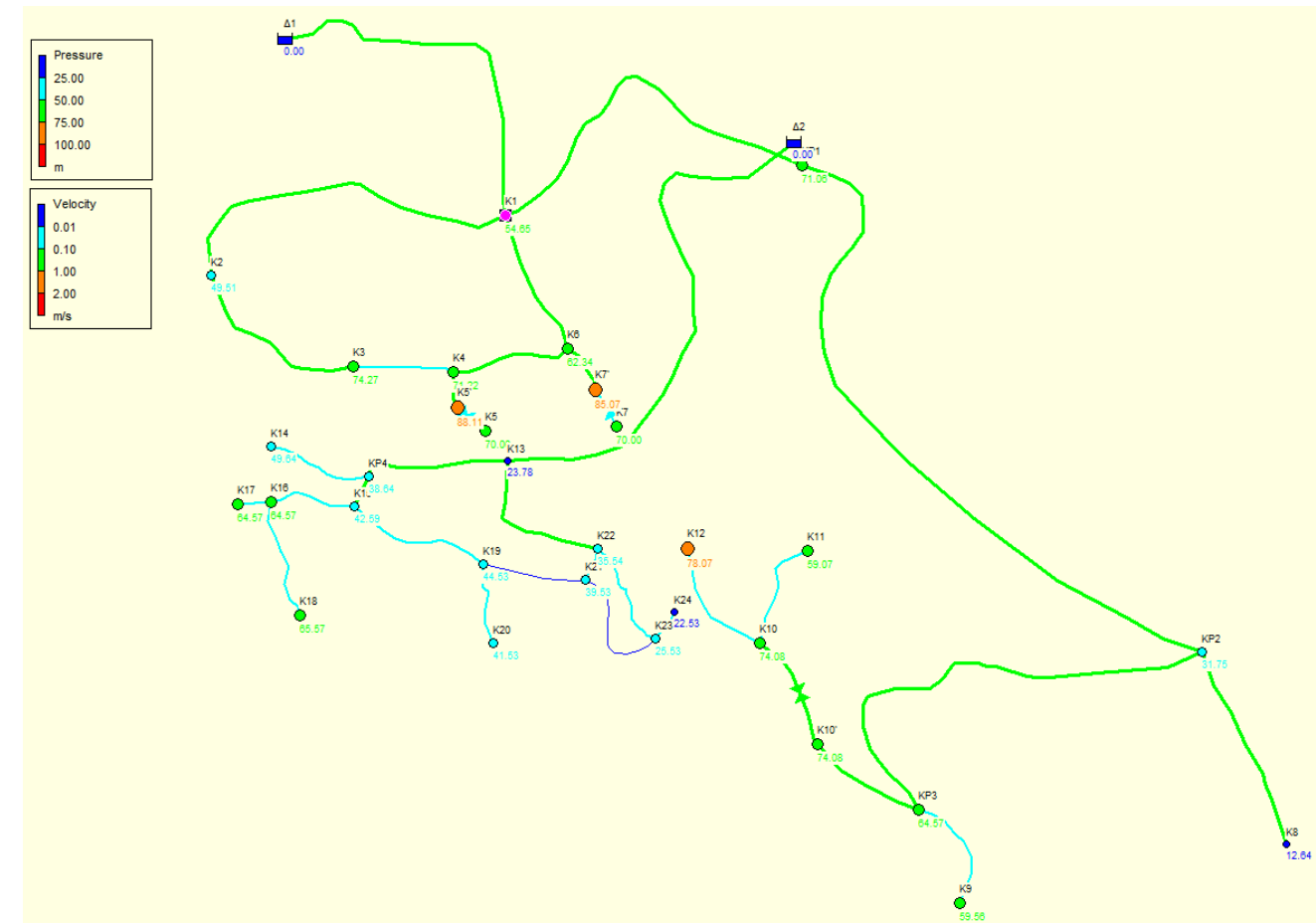
Έλεγχος του δικτύου σε σενάριο εκδήλωσης πυρκαγιάς

Ο έλεγχος γίνεται για την ενεργοποίηση μεμονωμένων κρουών στους κόμβους ΚΡ1, ΚΡ2, ΚΡ3, ΚΡ4 (εκδήλωση πυρκαγιάς στο ανάλογο τμήμα του οικισμού), με επιπλέον παροχή 5l/s, και προκύπτει ότι η πίεση στους περισσότερους κόμβους είναι ικανοποιητική. Η μικρότερη πίεση παρουσιάζεται κατά την λειτουργία των ΚΡ2 και ΚΡ3 κοντά στις τουριστικές υποδομές. Η πίεση ύδρευσης για τα τουριστικά καταλύματα προβλέπεται στα 12.54m αλλά είναι αποδεκτή στο ενδεχόμενο σενάριο μιας πυρκαγιάς πλησίον τους. Οι έλεγχοι έγιναν με χρήση της μέγιστης ωριαίας παροχής ως προς το δυσμενέστερο.

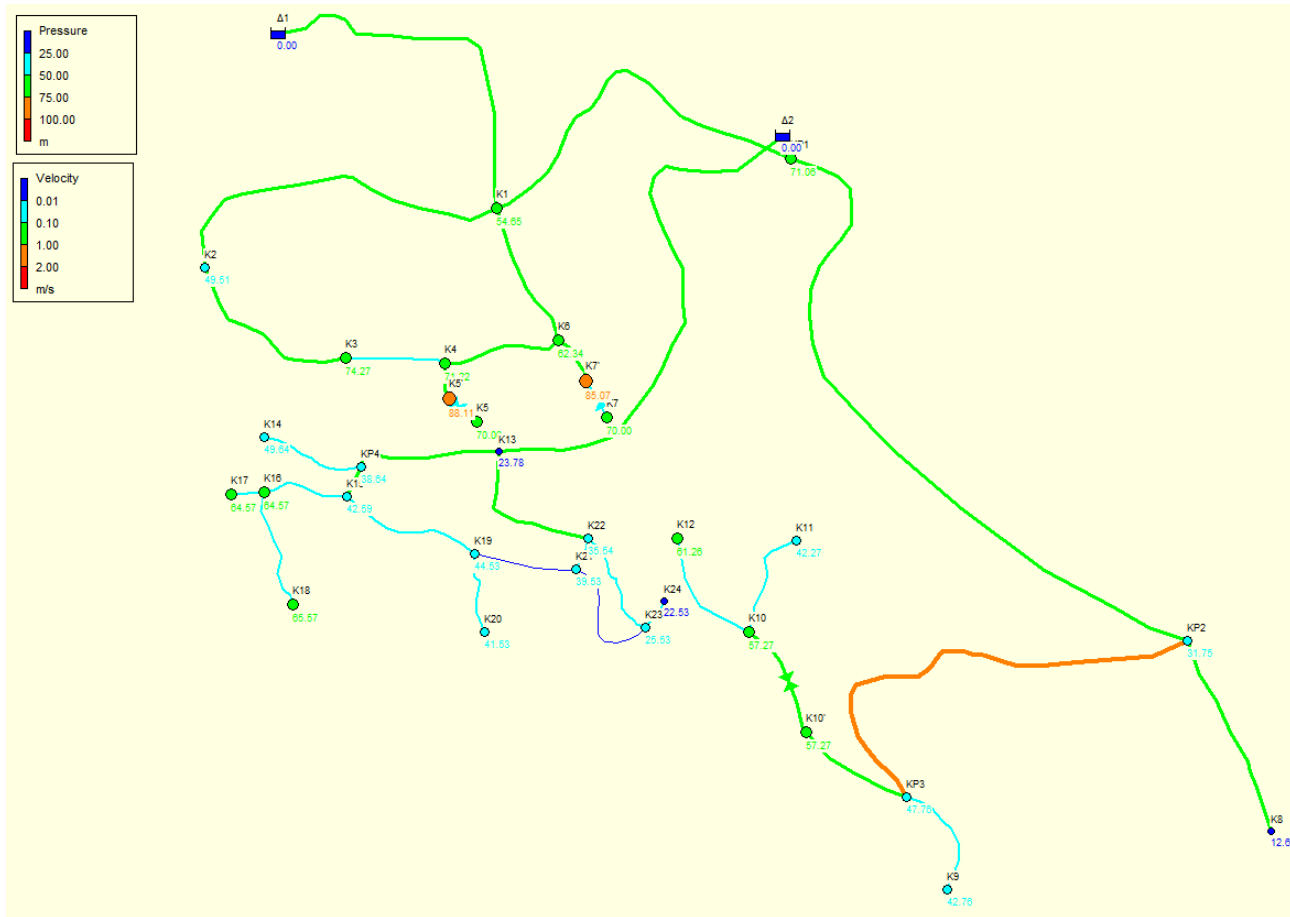
Όσον αφορά τις ταχύτητες του υδροδοτούμενου νερού εντός των αγωγών το δίκτυο παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά



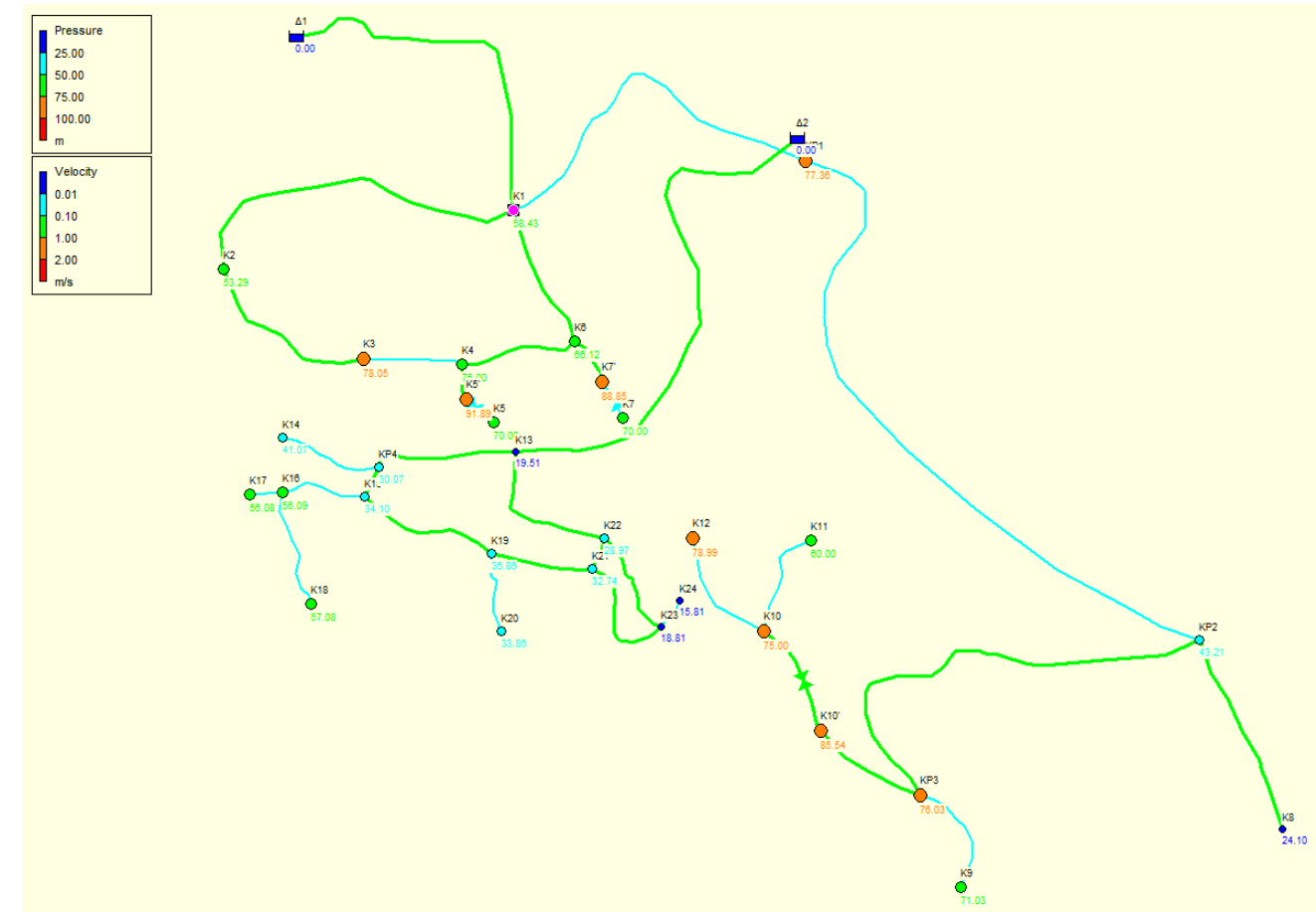
Εικόνα 5.16: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία κρουνού ΚΡ1



Εικόνα 5.17: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία κρουνού ΚΡ2



Εικόνα 5.18: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία κρουνού KP3



Εικόνα 5.19: Απόκριση δικτύου Κτιστάδων υπό την λειτουργία κρουνού KP4

Οι πίνακες ζήτησης, πιέσεων κόμβων και ταχυτήτων αγωγών παρουσιάζονται αντίστοιχα για κάθε σενάριο:

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.13	816.65	54.65
Junc K2	0.23	815.51	49.51
Junc K3	0.17	815.27	74.27
Junc K4	0.17	815.22	71.22
Junc K5	0.20	797.00	70.00
Junc K6	0.15	815.34	62.34
Junc K7	0.28	800.00	70.00
Junc K8	0.40	813.80	17.80
Junc K9	0.05	813.73	64.73
Junc K10	0.15	809.00	75.00
Junc K11	0.07	809.00	60.00
Junc K12	0.12	808.99	78.99
Junc KP1	5.00	814.06	71.06
Junc KP2	0.00	813.91	36.91
Junc KP3	0.00	813.73	69.73
Junc K13	0.15	745.78	23.78
Junc K14	0.05	745.64	49.64
Junc K15	0.20	745.59	42.59
Junc K16	0.05	745.57	64.57
Junc K17	0.05	745.57	64.57
Junc K18	0.05	745.57	65.57
Junc K19	0.08	745.53	44.53
Junc K20	0.12	745.53	41.53
Junc K21	0.17	745.53	39.53
Junc K22	0.10	745.54	35.54
Junc K23	0.10	745.53	25.53
Junc K24	0.05	745.53	22.53
Junc KP4	0.20	745.64	38.64
Junc K5'	0.20	815.11	88.11
Junc K7'	0.28	815.07	85.07
Junc K10'	0.15	813.24	79.24
Resvr Δ1	-7.75	821.00	0.00
Resvr Δ2	-1.37	746.00	0.00

Πίνακας 19: Κτιστάδες λειτουργία κρουνού KP1

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.13	816.65	54.65
Junc K2	0.23	815.51	49.51
Junc K3	0.17	815.27	74.27
Junc K4	0.17	815.22	71.22
Junc K5	0.20	797.00	70.00
Junc K6	0.15	815.34	62.34
Junc K7	0.28	800.00	70.00
Junc K8	0.40	808.64	12.64
Junc K9	0.05	808.56	59.56
Junc K10	0.15	808.08	74.08
Junc K11	0.07	808.07	59.07
Junc K12	0.12	808.07	78.07
Junc KP1	0.00	814.06	71.06
Junc KP2	5.00	808.75	31.75
Junc KP3	0.00	808.57	64.57
Junc K13	0.15	745.78	23.78
Junc K14	0.05	745.64	49.64
Junc K15	0.20	745.59	42.59
Junc K16	0.05	745.57	64.57
Junc K17	0.05	745.57	64.57
Junc K18	0.05	745.57	65.57
Junc K19	0.08	745.53	44.53
Junc K20	0.12	745.53	41.53
Junc K21	0.17	745.53	39.53
Junc K22	0.10	745.54	35.54
Junc K23	0.10	745.53	25.53
Junc K24	0.05	745.53	22.53
Junc KP4	0.20	745.64	38.64
Junc K5'	0.20	815.11	88.11
Junc K7'	0.28	815.07	85.07
Junc K10'	0.15	808.08	74.08
Resvr Δ1	-7.75	821.00	0.00
Resvr Δ2	-1.37	746.00	0.00

Πίνακας 20: Κτιστάδες λειτουργία κρουνού KP2

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.13	816.65	54.65
Junc K2	0.23	815.51	49.51
Junc K3	0.17	815.27	74.27
Junc K4	0.17	815.22	71.22
Junc K5	0.20	797.00	70.00
Junc K6	0.15	815.34	62.34
Junc K7	0.28	800.00	70.00
Junc K8	0.40	808.64	12.64
Junc K9	0.05	791.76	42.76
Junc K10	0.15	791.27	57.27
Junc K11	0.07	791.27	42.27
Junc K12	0.12	791.26	61.26
Junc KP1	0.00	814.06	71.06
Junc KP2	0.00	808.75	31.75
Junc KP3	5.00	791.76	47.76
Junc K13	0.15	745.78	23.78
Junc K14	0.05	745.64	49.64
Junc K15	0.20	745.59	42.59
Junc K16	0.05	745.57	64.57
Junc K17	0.05	745.57	64.57
Junc K18	0.05	745.57	65.57
Junc K19	0.08	745.53	44.53
Junc K20	0.12	745.53	41.53
Junc K21	0.17	745.53	39.53
Junc K22	0.10	745.54	35.54
Junc K23	0.10	745.53	25.53
Junc K24	0.05	745.53	22.53
Junc KP4	0.20	745.64	38.64
Junc K5'	0.20	815.11	88.11
Junc K7'	0.28	815.07	85.07
Junc K10'	0.15	791.27	57.27
Resvr Δ1	-7.75	821.00	0.00
Resvr Δ2	-1.37	746.00	0.00

Πίνακας 21: Κτιστάδες λειτουργία κρουνού KP3

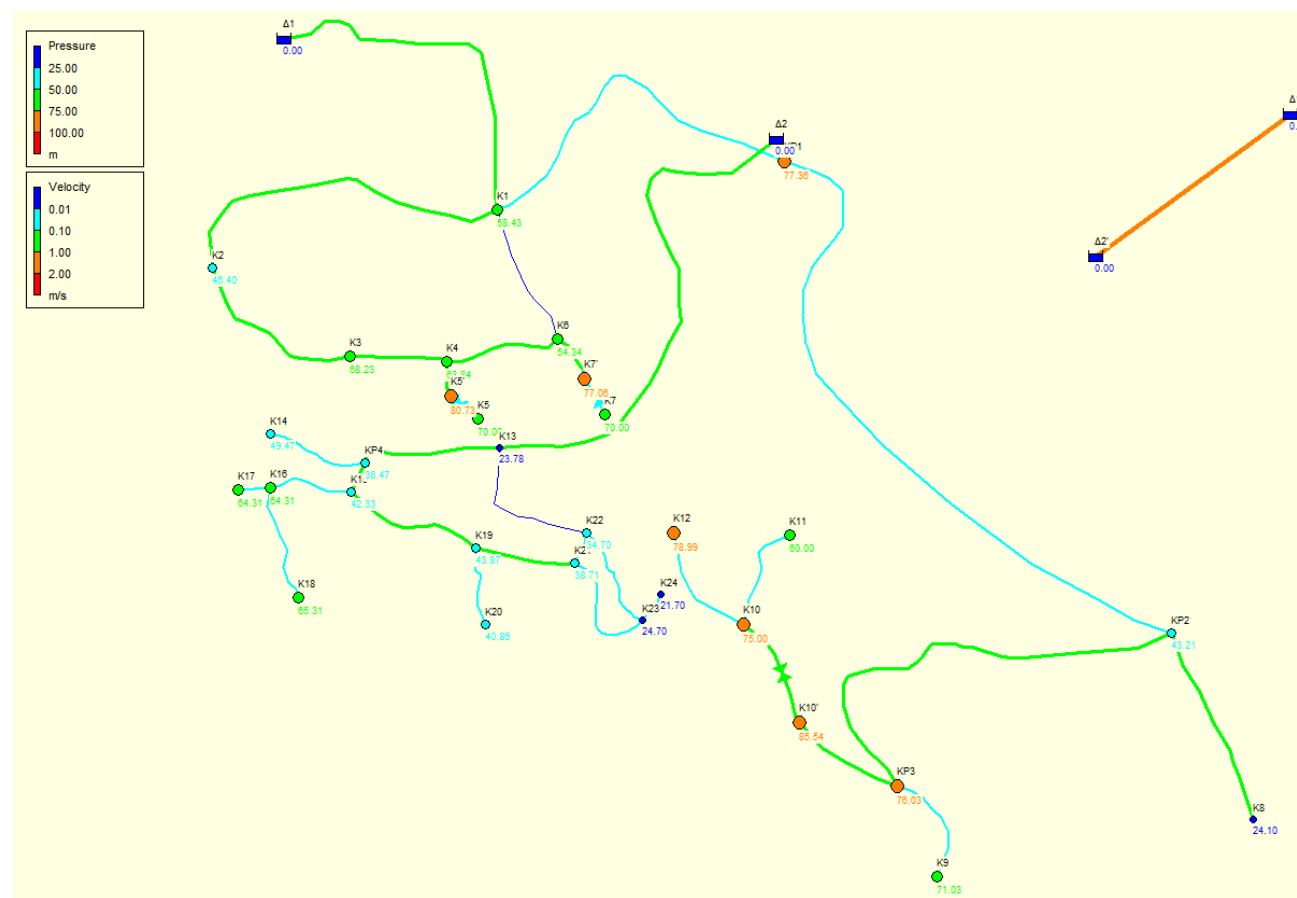
Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc K1	0.13	820.43	58.43
Junc K2	0.23	819.29	53.29
Junc K3	0.17	819.05	78.05
Junc K4	0.17	819.00	75.00
Junc K5	0.20	797.00	70.00
Junc K6	0.15	819.12	66.12
Junc K7	0.28	800.00	70.00
Junc K8	0.40	820.10	24.10
Junc K9	0.05	820.03	71.03
Junc K10	0.15	809.00	75.00
Junc K11	0.07	809.00	60.00
Junc K12	0.12	808.99	78.99
Junc KP1	0.00	820.36	77.36
Junc KP2	0.00	820.21	43.21
Junc KP3	0.00	820.03	76.03
Junc K13	0.15	741.51	19.51
Junc K14	0.05	737.07	41.07
Junc K15	0.20	737.10	34.10
Junc K16	0.05	737.09	56.09
Junc K17	0.05	737.08	56.08
Junc K18	0.05	737.08	57.08
Junc K19	0.08	737.86	36.86
Junc K20	0.12	737.86	33.86
Junc K21	0.17	738.74	32.74
Junc K22	0.10	738.97	28.97
Junc K23	0.10	738.81	18.81
Junc K24	0.05	738.81	15.81
Junc KP4	5.20	737.07	30.07
Junc K5'	0.20	818.89	91.89
Junc K7'	0.28	818.85	88.85
Junc K10'	0.15	819.54	85.54
Resvr Δ1	-2.75	821.00	0.00
Resvr Δ2	-6.37	746.00	0.00

Πίνακας 22: Κτιστάδες λειτουργία κρουνού KP4

Έλεγχος του δικτύου σε σενάριο θραύσης αγωγού

Από τους ελέγχους θραύσης αγωγών του δικτύου και σε συνθήκες κατανάλωσης ωριαίας αιχμής δεν παρουσιάζεται κάποιο λειτουργικό πρόβλημα. Οι πιέσεις σε όλους τους κόμβους διατηρούνται πάνω των επιθυμητών ορίων που επιβάλλουν τα διώροφα κτίρια, συνεπώς δεν εμφανίζεται πρόβλημα ούτε σε αυτό το σενάριο.

Κρίσιμοι αγωγοί θεωρήθηκαν αυτοί κατάντη του κόμβου K1 για το άνω δίκτυο και αμέσως κατάντη του κόμβου K13 για το κάτω δίκτυο. Τυπικά παρουσιάζεται:



Εικόνα 5.20: Κλειστός αγωγός K1-K6 (άνω δίκτυο) K13-K22 (κάτω δίκτυο)

Να επισημανθεί πως υφίστανται κρισιμότεροι αγωγοί ήτοι ο αγωγός Δ1-Δ2 σύνδεσης των δύο συνεργαζόμενων δικτύων, ο αγωγός Δ1-K1 κύριος του άνω δικτύου Κτιστάδων, ο αγωγός Δ2-K13 κύριος του κάτω δικτύου Κτιστάδων καθώς επίσης και αυτοί των ακτινωτών τμημάτων του δικτύου. Σοβαρή βλάβη στους ανωτέρω συνεπάγεται έλλειψη υδροδότησης μέχρι την επιδιόρθωσή τους,

6. Μελέτη Εξωτερικού Υδραγωγείου

6.1 Ιστορική Ανασκόπηση Υδραγωγείων

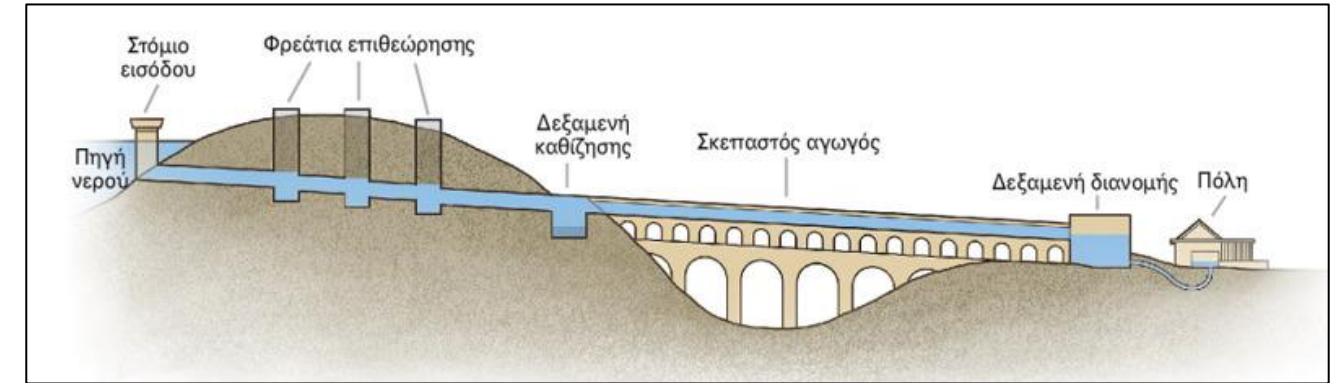
Υδραγωγείο ονομάζεται το τεχνητό κανάλι που κατασκευάζεται για να μεταβιβάσει νερό από μια θέση σε μια άλλη. Ο όρος ετυμολογείται από τις λέξεις «ύδωρ» και «άγω». Από τους πρώτους υποτυπώδεις οικισμούς της προϊστορίας ως τις αχανείς και τεχνολογικά εξελιγμένες σύγχρονες μεγαλουπόλεις, η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης σε επαρκή αποθέματα πόσιμου νερού αποτέλεσε και αποτελεί βασική προϋπόθεση της ύπαρξής τους.

Την εποχή που οι αρχαίοι οικισμοί άρχισαν να οργανώνονται σε επίπεδο πόλης, η απλή γειτνίαση με ποταμούς, λίμνες ή πηγές έπαψε να επαρκεί, και η ανάγκη για δημιουργία δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού άρχισε να γίνεται επιτακτική προκειμένου να εξασφαλιστεί η περαιτέρω ανάπτυξη τους. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων υδραγωγείων - υπόγειων ή υπέργειων αγωγών, δηλαδή, μεταφοράς νερού. Ίχνη προϊστορικών υδραγωγείων έχουν βρεθεί στην κοιλάδα του Νείλου της Αιγύπτου, στην αρχαία πόλη Τύρο της Συρίας, στην Κίνα, στην Κεντρική Αμερική και σε πολλά άλλα ακόμη σημεία του κόσμου.

Μολονότι οι Ρωμαίοι θεωρούνται οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές υδραγωγείων της Αρχαιότητας, αρδευτικά συστήματα είχαν κατασκευαστεί στην Περσία, στην Ινδία, στην Αίγυπτο και άλλες χώρες της Μέσης Ανατολής εκατοντάδες χρόνια νωρίτερα. Τα συστήματα αυτά περιλάμβαναν σήραγγες διανοιγμένες σε κλιτύες λόφων, μέσω των οποίων διοχετευόταν νερό για την άρδευση του υποκείμενων πεδιάδων. Κάπως συγγενέστερο προς τα κλασικά ρωμαϊκά έργα ήταν ένα υδραγωγείο κτισμένο με ασβεστόλιθο από τους Ασσυρίους περί το 691 π.Χ. για την ύδρευση της πόλης Νινευή.

Το περίτεχνο σύστημα που εξασφάλιζε την ύδρευση της πρωτεύουσας της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας παραμένει, ωστόσο, σπουδαίο τεχνολογικό επίτευγμα. Σε περίοδο 500 ετών, από το 312 π.Χ. μέχρι το 226 μ.Χ., κατασκευάστηκαν 11 υδραγωγεία για τη μεταφορά νερού στη Ρώμη από αποστάσεις μέχρι και 92 χιλιόμετρα. Οι Ρωμαίοι κατόρθωσαν να μεταφέρουν νερό σε όλη την Αυτοκρατορία τους με την βοήθεια ενός περίπλοκου συστήματος υδραγωγείων. Τα υπέργεια ανοικτά κανάλια μεταφοράς νερού πάνω σε αψίδες, είναι από τα εντυπωσιακότερα έργα της αρχαιότητας που πολλά, σε μεγάλα τμήματα, σώζονται σχεδόν άθικτα ακόμα και

σήμερα. Μερικά από αυτά τα υδραγωγεία εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται. Ενδεικτική σχεδίαση ενός τέτοιου υδραγωγείου παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.1.

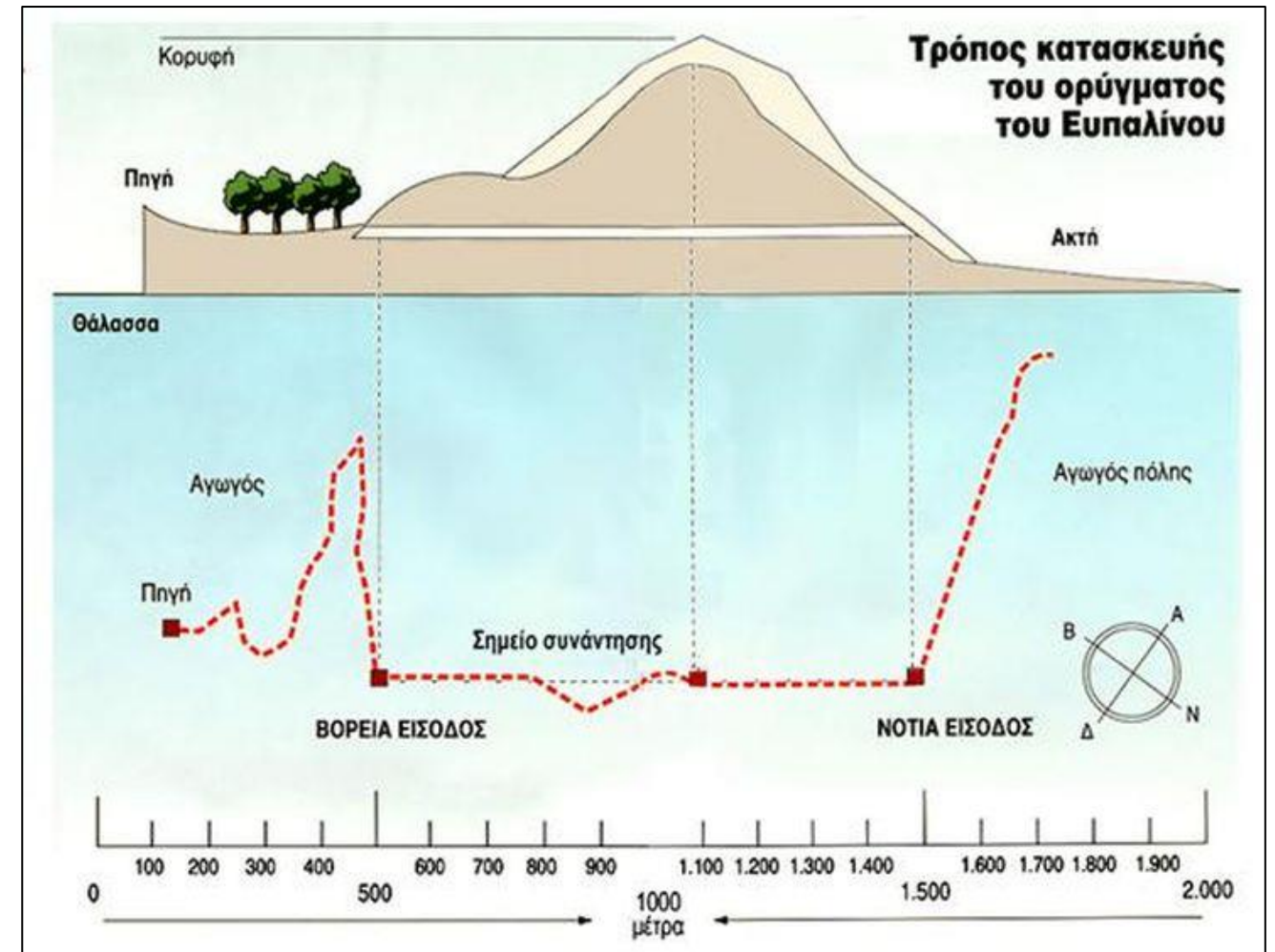


Εικόνα 6.1: Τυπική Σχεδίαση Εξωτερικού Υδραγωγείου

Σημαντικά έργα ύδρευσης κατασκεύασαν επίσης οι Έλληνες, οι οποίοι κατασκεύασαν και τους πρώτους σίφωνες υπό πίεση, για την ύδρευση της Σμύρνης και της Περγάμου το 3ο π.Χ. αιώνα. Η Ελλάδα είναι διάσπαρτη με υδραγωγεία (κυρίως της ελληνοιστικής εποχής), μνημεία διαφόρων εποχών, κατακτητών και ηγετών που θέλησαν να συνδέσουν το όνομά τους με μια υδρολογική κατασκευή ή καινοτομία, ενώ στην Κνωσό το πρώτο πράγμα που μαθαίνουν οι χιλιάδες τουρίστες από τους ξεναγούς είναι ότι εκεί είχε εφαρμοστεί ένα σύστημα διαχείρισης του νερού για καθημερινή χρήση, το οποίο θεωρείται από τα πρώτα στην ιστορία. Οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν επίσης πολλά υδραγωγεία σε όλη την αυτοκρατορία, μερικά από τα οποία υπάρχουν ακόμα και στην Ελλάδα (Αθήνα, Μυτιλήνη κ.ά.). Στα περισσότερα υδραγωγεία τους συνήθιζαν να κατασκευάζουν δεξαμενή κοντά στις πηγές πριν αρχίσουν την μεταφορά του νερού ώστε να διατηρούν σταθερή ροή και πίεση. Η μεταφορά του νερού γινόταν από τα γνωστά αψιδωτά τμήματα που με κλίση 1:1000 εξασφάλιζαν σταθερή ροή.

Θαύμα της αρχαίας μηχανικής θεωρείται το υδραγωγείο που κατασκεύασε τον 6ο αιώνα π.Χ. ο καταγόμενος από τα Μέγαρα μηχανικός Ευπαλίνος για την ύδρευση της Σάμου. Το Ευπαλίνειο όρυγμα αποτελεί σύμφωνα με τον Ηρόδοτο ένα από τα σημαντικότερα έργα στην ιστορία της μηχανικής. Το πως ο Ευπαλίνος κατάφερε να υπολογίσει την πορεία διάνοιξης των δύο άκρων της σήραγγας με τέτοια ακρίβεια ώστε αυτά να συναντηθούν στο εσωτερικό του βουνού, αποτελεί δείγμα του επιπέδου των γνώσεων των αρχαίων Ελλήνων μηχανικών. Η κατασκευή του ορύγματος του διήρκεσε 10 χρόνια. Το άνοιγμα της σήραγγας είναι περίπου

1.80x1.80m. και το μήκος της περίπου 1000m. Μερικά μέτρα κάτω από την κύρια σήραγγα έχει σκαφτεί μια μικρότερη, από την οποία περνούσε το νερό. Εκτιμάται ότι ο σκοπός του ορύγματος ήταν όχι μόνο να μεταφερθεί νερό από την πηγή πίσω από το βουνό προς στην πρωτεύουσα της Σάμου (το σημερινό Πυθαγόρειο), αλλά αυτό να γίνει με τρόπο που δεν ήταν ανιχνεύσιμος από επιδρομείς, οι οποίοι θα μπορούσαν εύκολα, αν έβλεπαν τον επιφανειακό αγωγό, να τον καταστρέψουν και να στερήσουν την πόλη από τον βασικότερο πόρο της. Από το ορύγμα λοιπόν το νερό οδηγούνταν μέσα από το τείχος της πόλης. Η διάνοιξη της σήραγγας ξεκίνησε ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές του όρους "Κάστρου", απ' όπου διέρχεται. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν δυο παράλληλες σήραγγες, είναι ότι κατά το χρόνο σχεδιασμού και υλοποίησης του έργου η πηγή βρισκόταν σε ορισμένο ύψος (υψηλότερο από το επίπεδο της στοάς), αλλά μετά την κατασκευή της κύριας στοάς, η πηγή άρχισε να αναβλύζει χαμηλότερα, συνεπώς δε μπορούσε πλέον με φυσική ροή να οδηγηθεί στη στοά αυτή. Για το λόγο αυτό έγινε αναγκαία η διάνοιξη μιας βοηθητικής, μικρότερης σήραγγας σε χαμηλότερο επίπεδο. Η μικρότερη σήραγγα διανοίχτηκε μέσα από την κύρια στοά, με τη βοήθεια κάθετων ορυγμάτων.



Εικόνα 6.2: Τρόπος Κατασκευής του ορύγματος του Ευπαλίνου

Όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια της τεχνικής έκθεσης, η κατασκευή του εξωτερικού υδραγωγείου απαιτεί την διάνοιξη σήραγγας κάτω από σχετικά δυσμενείς συνθήκες και το παράδειγμα του Ευπαλίνου ορύγματος αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων.

6.2 Σκοπιμότητα του έργου

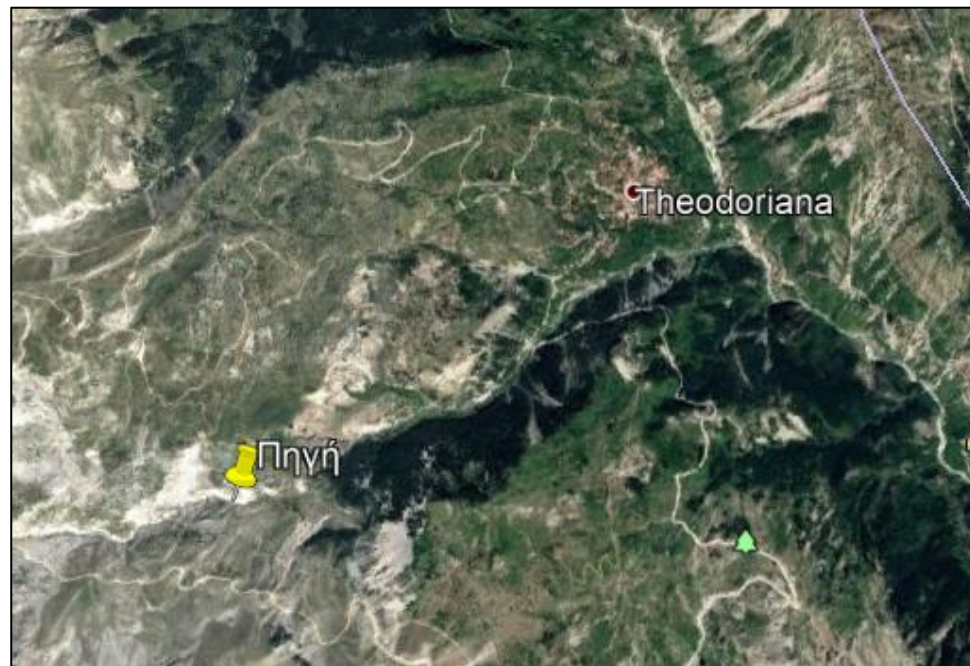
Εδώ και χρόνια, οι οικισμοί Κορακάδα και Αθαμάνιο για την κάλυψη των υδρευτικών τους αναγκών τροφοδοτούνται μέσω καταθλιπτικού αγωγού από την πηγή Κωστηλάτα στην Μουρτζιά. Λόγω του έντονου ανάγλυφου η όδευση του αγωγού αυτού έχει γίνει πάνω από τα γύρω βουνά της περιοχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται άντληση του νερού σε 200 μέτρα υψόμετρο, προκειμένου να φτάσει στους οικισμούς. Ως γνωστό η ζήτηση για νερό, ειδικά την καλοκαιρινή περίοδο είναι αρκετά αυξημένη καθώς λειτουργούν δύο αντλίες παράλληλα (2x75Hp) για την

κάλυψη της ζήτησης αιχμής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το έργο αυτό να είναι εξαιρετικά ασύμφορο κατά την διάρκεια λειτουργίας του χρεώνοντας τον δήμο 80.000 ευρώ ετησίως. Σκοπός της νέας όδευσης είναι τα χωριά να τροφοδοτούνται με αγωγό βαρύτητας χωρίς την χρήση αντλιών. Γι' αυτό τον σκοπό θα χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της οριζόντιας διάτρησης για την αποφυγή του αυχένα κάτι που θα αναλυθεί διεξοδικά στο Κεφάλαιο 7. Ακόμα μπορεί να γίνει εκμετάλλευση τόσο της πηγής που έχει μεγάλα αποθέματα νερού ειδικά τους χειμερινούς μήνες, όσο και της μεγάλης υψομετρικής διαφορά της πηγής και του οικισμού παράγοντας υδροηλεκτρική ενέργεια.

Με την υλοποίηση αυτού του έργου ο δήμος θα καταφέρει να τροφοδοτήσει τους οικισμούς χωρίς την χρήση ενέργειας (ανεξαρτητοποίηση από το δίκτυο) ακόμα θα έχουμε λιγότερες αστοχίες (με την κατάργηση των αντλιών το σύστημα μας δεν θα έχει κινητά μέλη τα οποία αστοχούν σχετικά εύκολα) αλλά και ανεξαρτητοποίηση από τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας.

6.3 Περιοχή Πηγής Κωστηλάτα

Η τροφοδοσία θα γίνει από την πηγή Κωστηλάτας Τζουμέρκων. Η πηγή αυτή εντοπίζεται περίπου 3 χιλιόμετρα από τον οικισμό Θεοδώριανα. (Εικόνα 6.3)

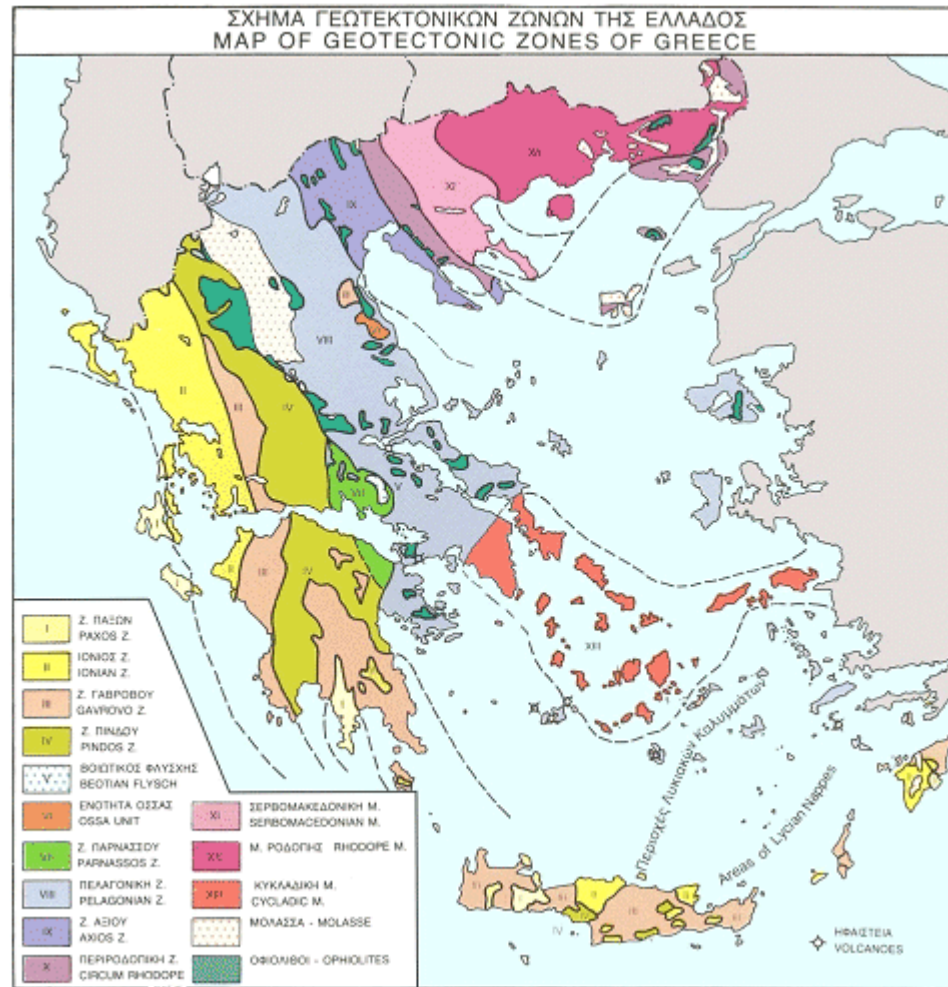


Εικόνα 6.3: Πηγή Κωστηλάτα – Θεοδώριανα (Google Earth)

Το απόλυτο υψόμετρο είναι +1243 m. Το νερό της πηγής εμφιαλώνεται από την εταιρία «Πηγές Κωστηλάτα στην Ήπειρο». Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι η ποιότητα του νερού είναι εξαιρετική. Λόγο του έντονου υδρολογικού δυναμικού της περιοχής η πηγή έχει μεγάλο πλεόνασμα νερού που εμείς μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε.

6.3.1 Γεωλογία Περιοχής

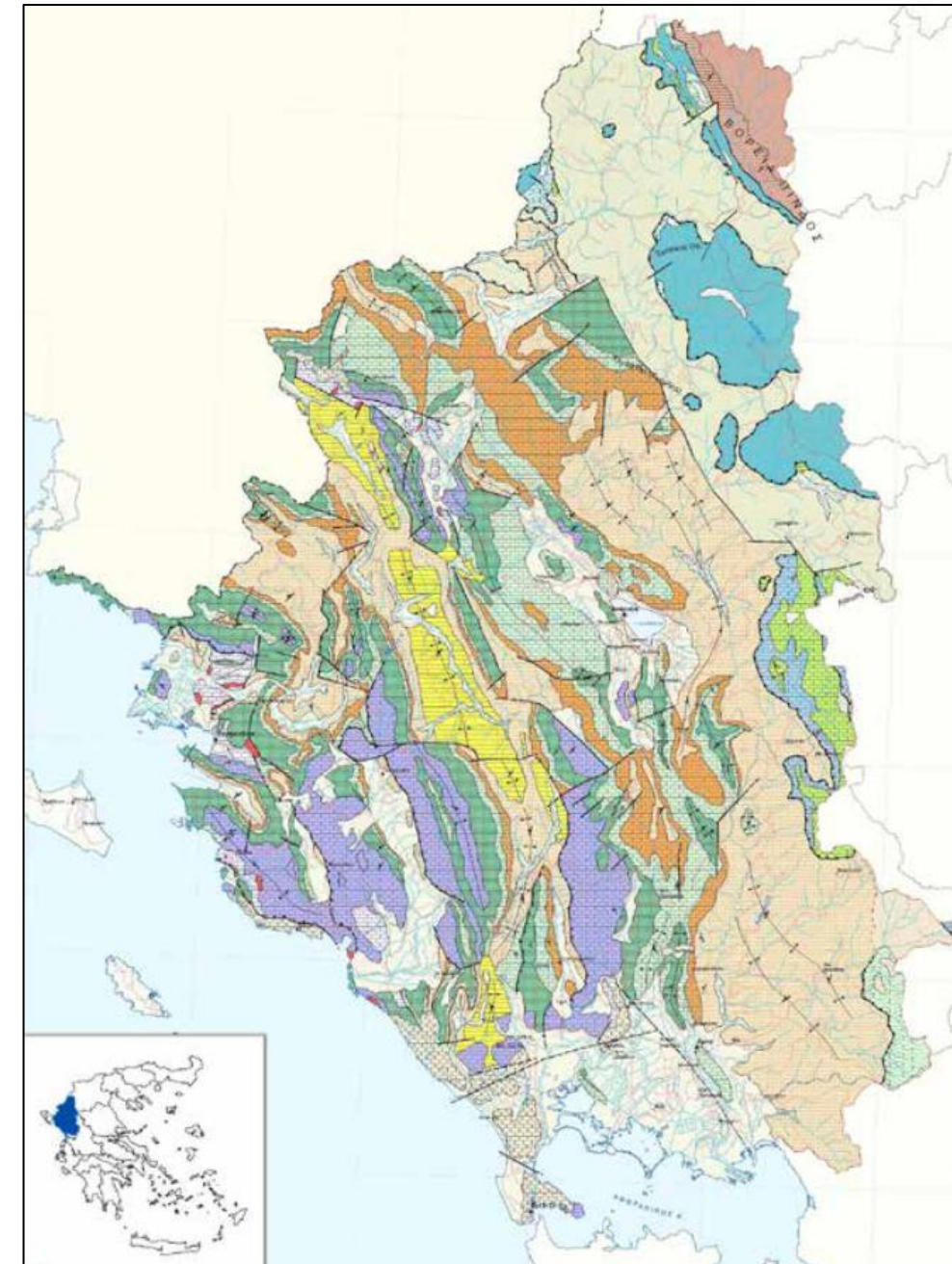
Το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου ανήκει στην Ιόνιο γεωτεκτονική ζώνη. Οι ανατολικές περιοχές της (Τζουμέρκα όρη, λεκάνη Αώου και Σαρανταπόρου) ανήκουν στην ζώνη της Πίνδου. Στους ορεινούς όγκους Γράμμου - Σμόλικα - Μετσόβου, αναπτύσσονται πετρώματα της Υποπελαγονικής ζώνης (οφιολιθικά πετρώματα). Το όρος Γάβροβο ανήκει στην ομώνυμη ζώνη. Κύριο χαρακτηριστικό της γεωλογικής δομής της Ηπείρου είναι η επαλληλία μεγάλων αντικλίνων και μεγάλων συγκλίνων με γενική δ/νση αξόνων ΒΔ - ΝΑ που είναι και η τυπική δ/νση των Δειναρίδων και της Πίνδου.



Χάρτης 6: Σχήμα Γεωτεκτονικών Ζωνών Ελλάδος

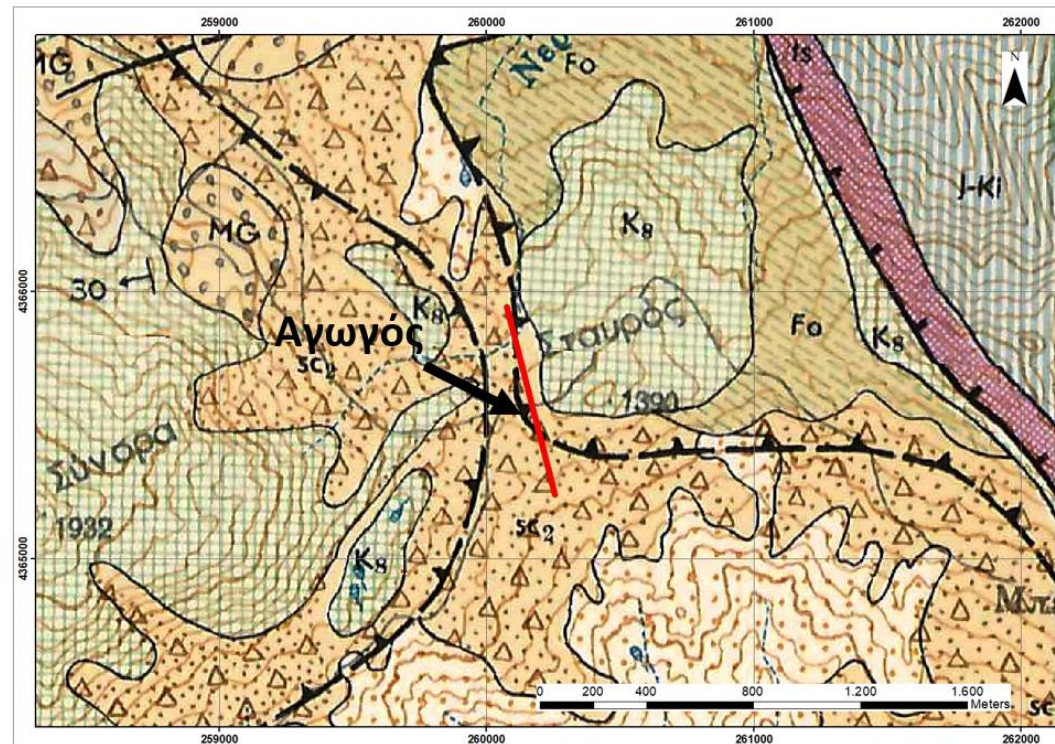
Στην ζώνη Πίνδου συναντάται:

- Ο κλαστικός σχηματισμός του Τριαδικού από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους ψαμμίτες και ιλυόλιθους.
- Η σειρά των ασβεστόλιθων και κερατόλιθων ερυθρωπού χρώματος που καταλαμβάνει το διάστημα ανώτερο Τριαδικό - ανώτερο Τιθώνιο.
- Ο πρώτος φλύσχης (Κενομάνιο-Τουρόνιο).
- Οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι και τα στρώματα μετάβασης.
- Ο δεύτερος φλύσχης (Παλαιόκαινο - Ηώκαινο). Στο σύνθετο κάλυμμα της Πελαγονικής όπου από την κορυφή προς την βάση συναντούμε: την επικλυσιογενή ασβεστολιθική σειρά και το οφιολιθικό σύμπλεγμα (περιδοτίτες, γάβρους, δολερίτες, σερπεντίνες κ.α)



Χάρτης 7: Γεωλογικός Χάρτης Περιφέρειας Ηπείρου

Η χάραξη του αγωγού της οριζόντιας διάτρησης πρόκειται να διασχίσει ορεινό όγκο ο οποίος έχει μεταβλητή γεωλογική στρωματογραφία λόγω της ύπαρξης επώθησης σχεδόν παράλληλης με την χάραξη του αγωγού. Συγκεκριμένα για την γεωλογική διερεύνηση της περιοχής του έργου, αξιοποιήθηκε το γεωλογικό φύλλο ΙΓΜΕ «ΑΓΝΑΝΤΑ» (Ν. ΛΑΛΕΧΟΥ και Ν. ΦΙΛΙΠΠΑΚΗ, 1970). Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη με την περιοχή του έργου, αποτυπώνεται στον Χάρτη 12.



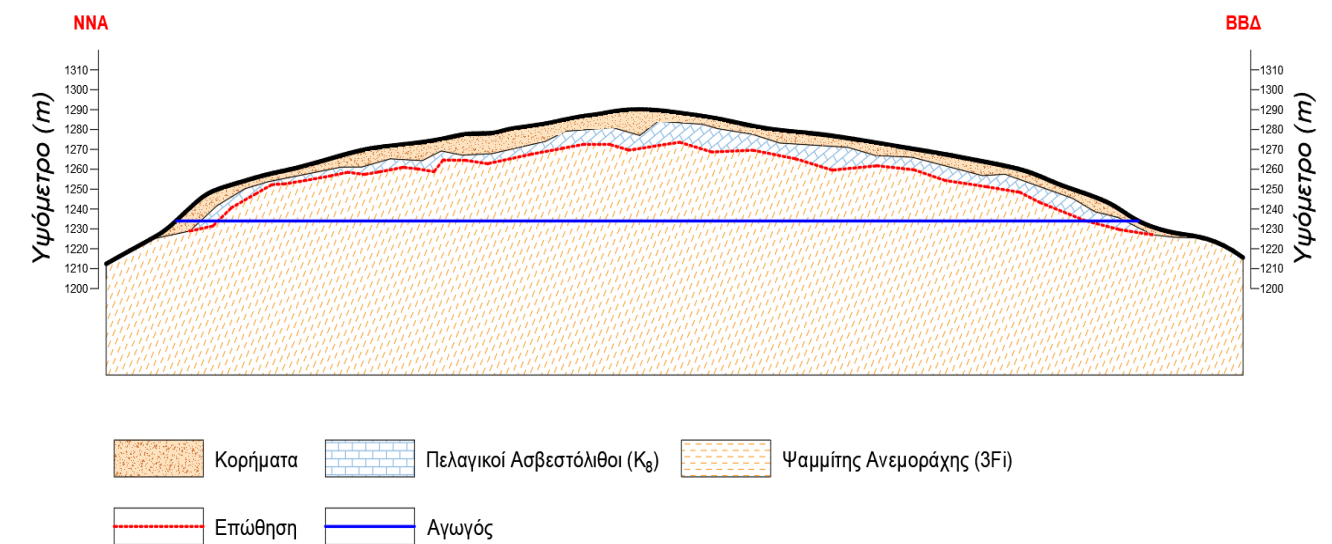
Χάρτης 8: Απόσπασμα γεωλογικού φύλλου ΙΓΜΕ «ΑΓΝΑΝΤΑ» με την περιοχή του έργου

Από το παραπάνω απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη, παρατηρείται ότι συναντώνται οι ακόλουθοι γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της χάραξης:

- Κορήματα παλαιά (sc₂)
- Ψαμμίτης Ανεμοράχης (3Fi): Πρόκειται για λεπτόκοκκους έως χονδρόκοκκους ψαμμίτες, κατά θέσεις μικρολατυποπαγείς. Έχουν υποστεί διάβρωση υπό μορφή σφαιροειδών σωμάτων. Το μέσο πάχος του σχηματισμού είναι 100μ, ενώ η ηλικία του σχηματισμού χρονολογείται στο Ολιγόκαινο.
- Φλύσχης ψαμμιτομαργαϊκού τύπου (F0): Αρχίζει κατά το Μαιστρίχιον διότι τα πρώτα μαργαϊκά ή ψαμμιτικά στρώματα αυτού, πάχους 50μ με πελαγικούς ασβεστολίθους ή με μικρολατυποπαγείς ασβεστολίθους. Οι αποσαθρωμένοι ορίζοντες είναι σπάνιοι εντός της μάζας του φλύσχη. Ο σχηματισμός εντάσσεται εντός της γεωλογικής ζώνης της Πίνδου.
- Πελαγικοί ασβεστόλιθοι (K₈): Πρόκειται για πελαγικούς ασβεστολίθους με πυριτόλιθους πάχους 10 εκατοστών και ενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων, περιέχοντας θραύσματα Ρουδιστών. Οι πλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα της σειράς και καλύπτονται

πλήρως εις το ανώτερο τμήμα από συμπαγείς λατυποπαγείς ασβεστολίθους με θραύσματα Ρουδιστών. Το πάχος του σχηματισμού εκτιμάται από θραύσματα Ρουδιστών. Ο σχηματισμός χρονολογείται στο Ανώτερο Τραιδικό.

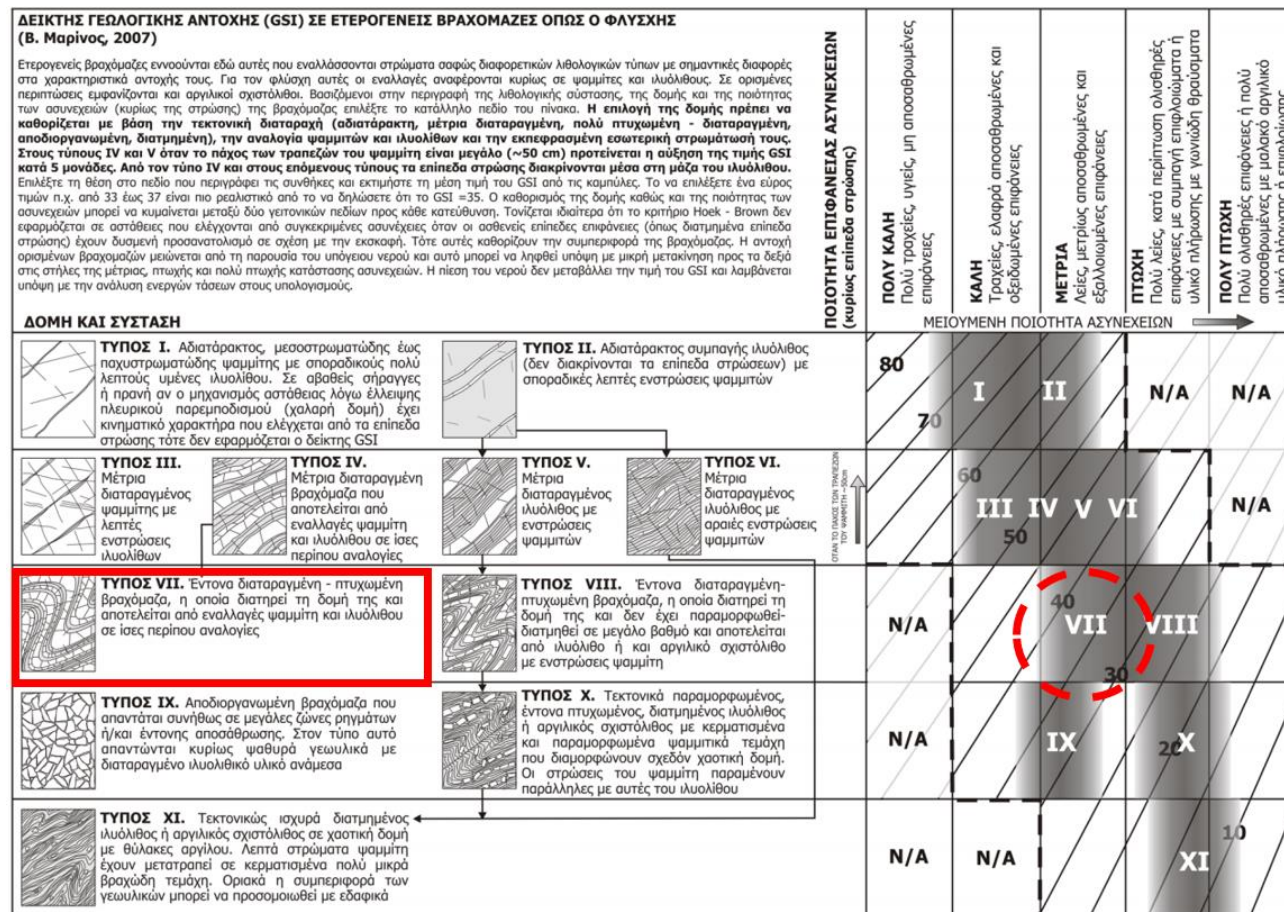
Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω και με την βοήθεια του Υποψήφιου Διδάκτορα του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής κ. Δημήτρη Γεωργίου, συντάχθηκε μια απλοϊκή και κατά προσέγγιση γεωλογική τομή κατά μήκος της υπόγειας χάραξης του αγωγού, όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Γεωλογική Τομή κατά μήκος του έργου

Για την εκτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών που πρόκειται να συναντηθούν κατά μήκος του υπόγειου τμήματος του αγωγού, χρησιμοποιήθηκαν τιμές μηχανικών παραμέτρων άρρηκτου πετρώματος (intact rock) από την βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχώμαζας (rockmass) με τον γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI για ετερογενείς βραχώμαζες κατά Marinos V. (2007).

Συγκεκριμένα στο υπόγειο τμήμα θα συναντηθούν οι ψαμμίτες Ανεμοράχης (3Fi), όπου λόγω της γεινίασης με την επώθηση ο σχηματισμός αναμένεται να είναι έντονα κατακερματισμένος. Βάσει της ταξινόμησης, όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, η βραχώμαζα λαμβάνει τιμή GSI = 30 – 40.



Σχήμα 2: Ταξινόμηση βραχώμαζας ψαμμιτών Ανεμοράχης (3Fi)

Μετά από βιβλιογραφική αναζήτηση, προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες μηχανικές παράμετροι αντοχής για άρρηκτο βράχο (intact rock), όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 15.

Παράμετρος	Ψαμμίτης
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})	50 MPa
Ειδικό βάρος (γ)	26 kN/m ³
Παράμετρος m_i	17
Μέτρο Ελαστικότητας (E_i)	30 GPa

Πίνακας 23: Παράμετροι Αντοχής Άρρηκτου πετρώματος

Χρησιμοποιώντας τις τιμές του άρρηκτου πετρώματος από τον Πίνακα 15 και βασιζόμενοι στην ταξινόμηση βραχώμαζας κατά GSI = 35, υπολογίστηκαν οι παράμετροι αντοχής της βραχώμαζας των ψαμμιτών Ανεμοράχης (3Fi), χρησιμοποιώντας το κριτήριο αστοχίας *Generalized Hoek & Brown (2002)* και την

εμπειρική σχέση *Generalized Hoek & Diederichs (2006)* για τον υπολογισμό του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχώμαζας (E_m). Ο

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων αντοχής της βραχώμαζας, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RSDData – Rocscience που διατέθηκε από τον Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής ΕΜΠ. Οι παράμετροι αντοχής της βραχώμαζας που υπολογίστηκαν, παρουσιάζονται στον Πίνακα 16.

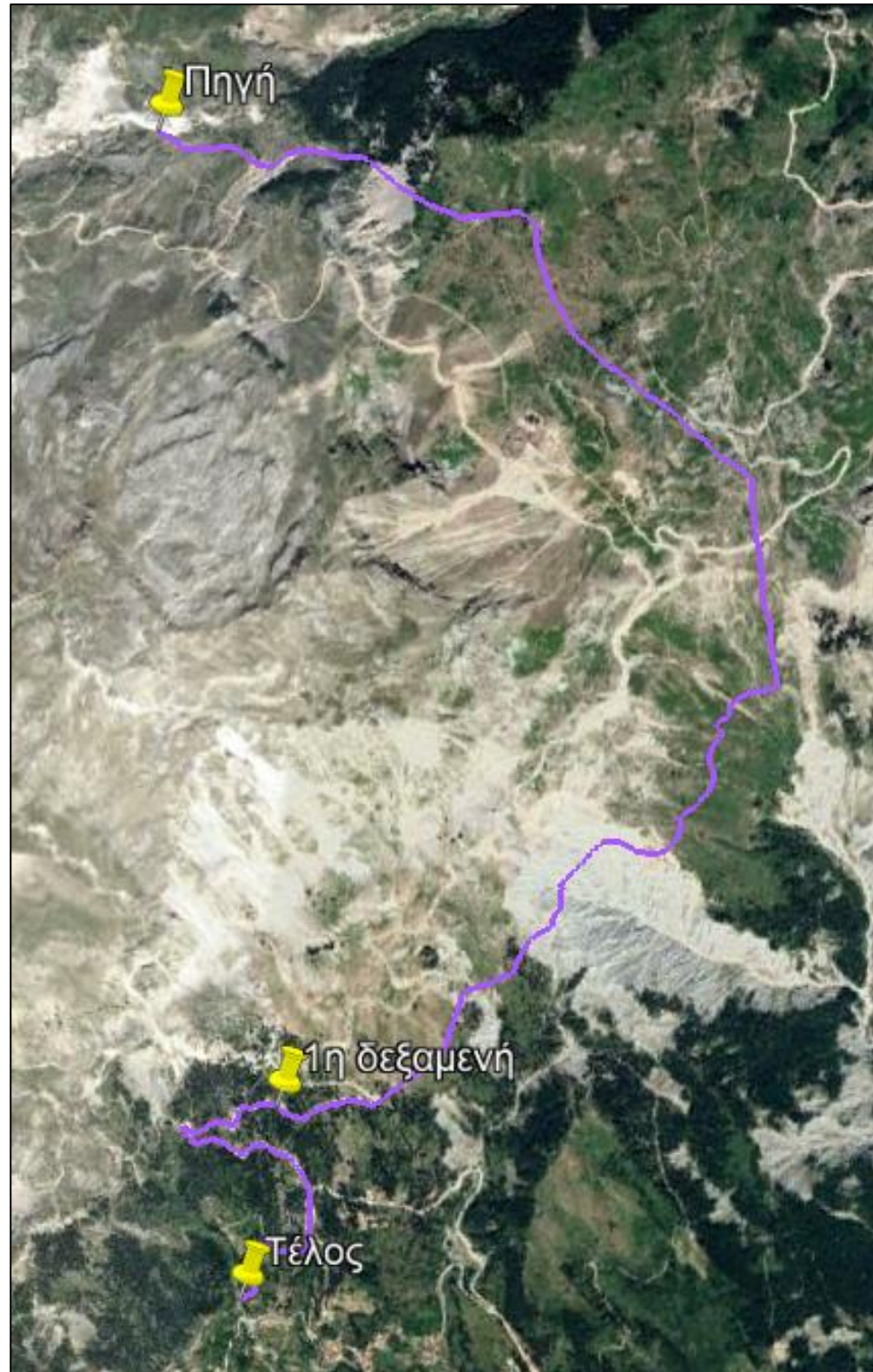
Παράμετρος	Ψαμμίτης
Αντοχή βραχώμαζας σε θλίψη (σ_{cm})	1.2 MPa
Μέτρο παραμορφωσιμότητας (E_m)	2.26 GPa
Παράμετρος m_b	1,668
Παράμετρος a	0,516
Παράμετρος s	7.3×10^{-4}
Συνοχή (c)	353 KPa
Γωνία τριθής (ϕ)	52,9°

Πίνακας 24: Παράμετροι Αντοχής Άρρηκτης βραχώμαζας

6.4 Στοιχεία Σχεδιασμού

Από την στιγμή που στον προηγούμενο σχεδιασμό δεν υπήρχε αστοχία στην κάλυψη της ζήτησης θεωρήθηκε παροχή σχεδιασμού η μέγιστη παροχή των αντλιών της παρούσας κατάστασης $Q = 140 \text{ m}^3/\text{h}$ ή $0,039 \text{ m}^3/\text{s}$.

Η όδευση που προτείνεται παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.4 και σχεδιάστηκε στο Google Earth.

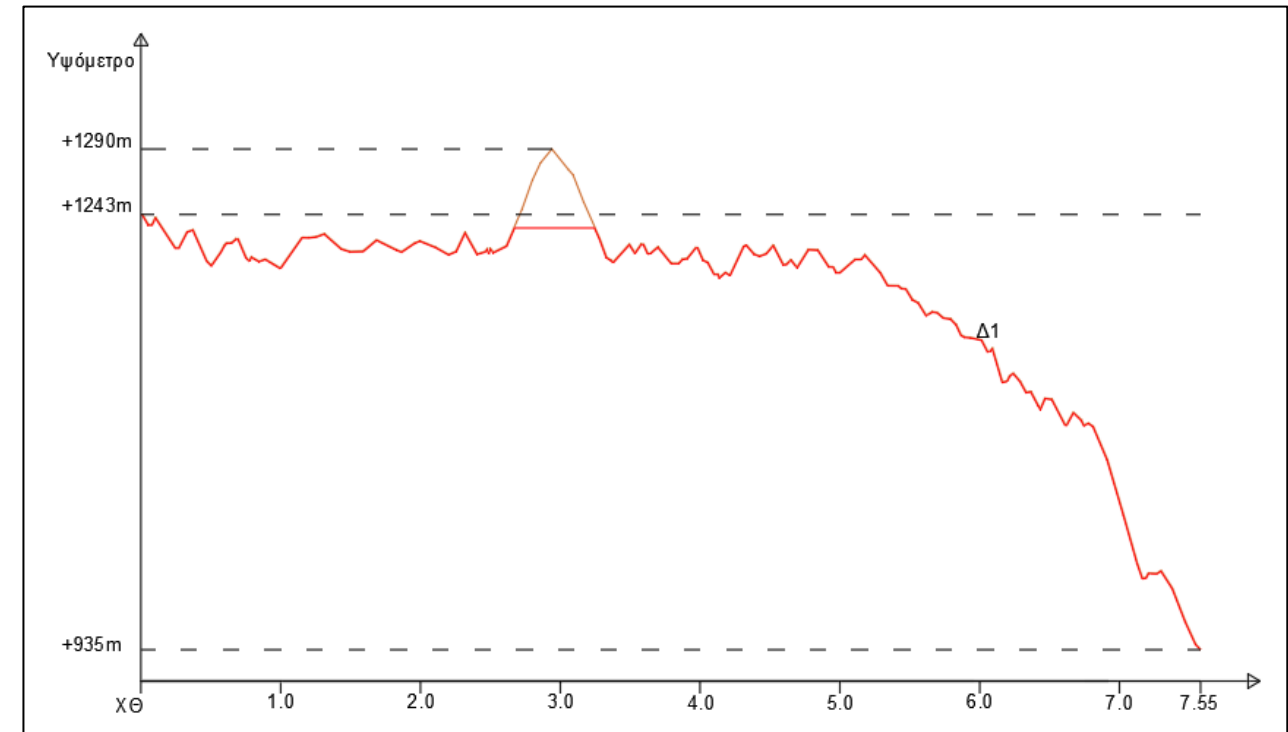


Εικόνα 6.4: Προτεινόμενη Όδευση από την Πηγή Κωστηλάτα

Το σημείο Πηγή είναι το σημείο που ξεκινάει ο αγωγός βαρύτητας (Πηγή Κωστηλάτα, Μουρτζιά). Στην 1^η δεξαμενή είναι η τοποθεσία της 1^{ης} πρώτης δεξαμενής για τον οικισμό Κορακάδα. Το σημείο τέλος είναι η πρόταση της μελέτης

να προεκταθεί ο αγωγός σε χαμηλότερο υψόμετρο για την παράγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτή την απόφαση δημιουργείται μια επιπλέον υψομετρική διαφορά ίση με 215m. Με αυτά τα δεδομένα και με αυτή την παροχή καθίσταται ρεαλιστική η εγκατάσταση μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού.

Η μηκοτομή της όδευσης απεικονίζεται στο Σχήμα 3 .



Σχήμα 3: Μηκοτομή Όδευσης

Με αυτό το ανάγλυφο εδάφους είναι αδύνατο να υπάρξει φυσική ροή νερού χωρίς βοήθεια από μηχανικά μέσα (αντλίες), όμως με την βοήθεια νέων τεχνολογιών (μέθοδος οριζόντιας διάτρησης) αυτό το εμπόδιο μπορεί να αντιμετωπιστεί.

Οι αγωγοί θα κατασκευαστούν από σωλήνες πολυαιθυλενίου τρίτης γενιάς HDPE. Επειδή η υψομετρική διαφορά από την αρχή μέχρι το τέλος είναι αρκετά μεγάλη (308 m) και οι τιμές του αγωγού για αντοχές στα 32bar πολύ υψηλές, επιλέγεται αγωγός μεταβαλλόμενης ονομαστικής αντοχής. Ουσιαστικά χωρίζεται ο αγωγός σε 3 ζώνες. Στην αρχή του αγωγού υπάρχουν πολύ μικρές πιέσεις για αγωγό 32 bar ακόμα με την επιλογή μικρότερων ονομαστικών αγωγών η πραγματική διάμετρος τους αγωγού είναι μεγαλύτερη. Με την μείωση των απωλειών το μικρό υδροηλεκτρικό έργο θα έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Η σύνδεση θα γίνει με την μέθοδο της μετωπικής συγκόλλησης ή οποία θα επιτυγχάνεται με χρήση ειδικού τεμαχίου από HDPE με ενσωματωμένη σπειροειδή διάταξη ηλεκτρικής αντίστασης: Ηλεκτρομούφα (electrofusion socket). Όπως φαίνεται ενδεικτικά και στην Εικόνα 6.5 .



Εικόνα 6.5: Ηλεκτρομούφα

Με την εφαρμογή τάσης στα δύο ηλεκτρόδια της ηλεκτρομούφας ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνά την ενσωματωμένη αντίσταση του ειδικού τεμαχίου. Με την αύξηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται τοπική συγκόλληση της σωλήνας και του ειδικού τεμαχίου. Στο τέλος όταν συγκολληθούν όλα τα κομμάτια μεταξύ τους θα πρέπει να γίνει έλεγχος κατά των προδιαγραφών ΕΛΟΤ EN 12201-3 για πόσιμο νερό.

6.5 Υδραυλικοί Υπολογισμοί

Είναι γνωστό ότι με την πάροδο του χρόνου στα εσωτερικά τοιχώματα θα σχηματιστούν άλατα και άλλα υπολείμματα, αυξάνοντας την τραχύτητα του αγωγού. Οπότε στα πλαίσια της μελέτης και των υδραυλικών υπολογισμών θεωρήθηκε τραχύτητα ίση με $K_s=1\text{mm}$.

Η δεδομένη παροχή σχεδιασμού θεωρείται ίση με την μέγιστη παροχεταιυτικότητα του υπάρχοντος υδρευτικού δικτύου, δηλαδή ίση με $Q = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$. Η παροχή αυτή είναι αρκετή δεδομένου ότι δεν αναμένεται να υπάρχουν μεγάλες πληθυσμιακές μεταβολές τα επόμενα έτη.

Ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών σε αγωγούς υπό πίεση πραγματοποιείται με τη σχέση Darcy-Weisbach:

$$H_v = \frac{f \times L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Όπου:

- V = η ταχύτητα ροής (m/s)
- D = η εσωτερική διάμετρος του αγωγού (m)
- L = το μήκος του αγωγού (m)
- g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s²)
- f = ο συντελεστής τριβών

Ο συντελεστής τριβών f εξαρτάται από το υλικό του σωλήνα και το είδος της ροής και υπολογίζεται με τη σχέση Colebrook - White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D_h} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right)$$

Όπου:

- Re = ο αριθμός Reynolds
- KS = η τραχύτητα σωλήνα = 1 mm

Ο αριθμός Reynolds ισούται με :

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\mu}$$

Όπου:

- μ = η κινηματική συνεκτικότητα του υγρού που εξαρτάται από την θερμοκρασία υγρού. Για τον τόπο του έργου και για το χρόνο λειτουργίας του λαμβάνεται ίσος με $1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Λόγω των μεγάλων υψομετρικών διαφορών κατά μήκος του αγωγού, όπως φαίνεται και στην σχετική μηκοτομή, για λόγους οικονομίας και αποτελεσματικότερου σχεδιασμού επιλέγεται ο διαχωρισμός του κύριου αγωγού σε τρία μέρη ανάλογα με την ονομαστική πίεση. Συγκεκριμένα οι αγωγοί που χωρίζονται είναι:

- DN 315/10 ATM
- DN 315/20 ATM
- DN 315/32 ATM

Όπου:

- 315 η ονομαστική (εξωτερική διάμετρος) .
- 10/20/32 η ονομαστική πίεση αντοχής του αγωγού.

Η παραπάνω διαδικασία γίνεται τρεις φορές δεδομένου ότι για κάθε αγωγό αλλάζει η εσωτερική διάμετρος. Κατ' επέκταση, για κάθε διαφορετική εσωτερική διάμετρο προκύπτουν διαφορετικές ταχύτητες και τελικά διαφορετικές απώλειες. Με βάσει τους παραπάνω τύπους υπολογίζονται τα εξής:

	10 atm	20 atm	32 atm
Dεσ(m)	0.278	0.245	0.210
A(m²)	0.061	0.047	0.035
V(m/s)	0.641	0.825	1.123
V²/2g	0.021	0.035	0.064
Re	161919	183729	214350
Μήκος αγωγού (m)	5950	970	630

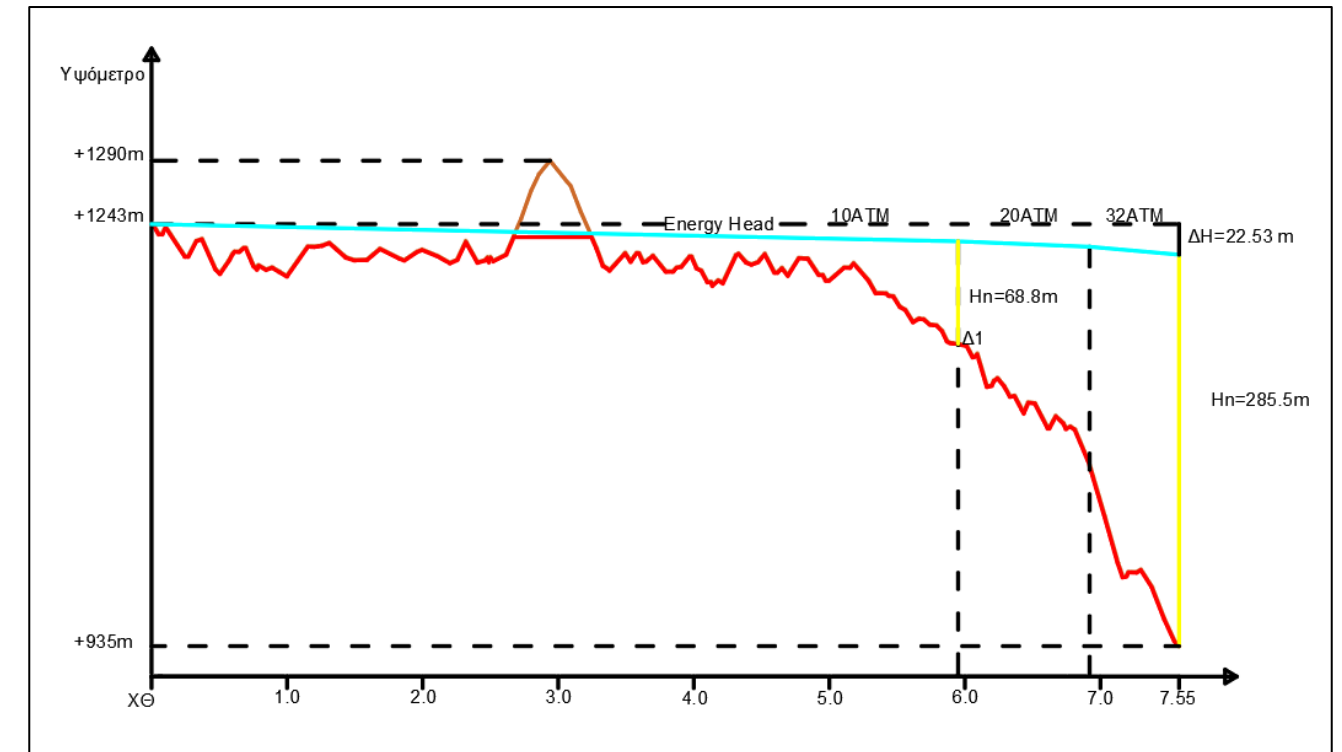
Πίνακας 25: Υπολογισμός Χαρακτηριστικών Αγωγού

ΑΠΩΛΕΙΕΣ			
	10 atm	20 atm	32 atm
f	0.028	0.029	0.030
1/f^{0.5}	5.946	5.854	5.737
ΟΡΟΣ	5.946	5.854	5.737
ΔΙΑΦΟΡΑ	0	0	0
Hf	0.002	0.004	0.009
Δhi (m)	12.67	4.01	5.86

Πίνακας 26: Υπολογισμός Απωλειών Αγωγού

Οι συνολικές απώλειες του αγωγού είναι: $\sum_{i=1}^3 \Delta h_i = 22.53 \text{ m}$.

Με βάση αυτούς τους υπολογισμούς σχεδιάζεται πιεζομετρική γραμμή και παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Μηκοτομή Όδευσης – Πιεζομετρική Γραμμή – Απώλειες

Από το παραπάνω διάγραμμα το διαθέσιμο ύψος πτώσης του νερού για την παραγωγή ενέργειας στην θέση της δεξαμενής και στην τελική θέση του έργου είναι αντίστοιχα: 68.8 m και 285.5 m. Περεταίρω ανάλυση της δυνατότητας αξιοποίησης του ύψους πτώσης για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στο κεφάλαιο 9.

6.6 Εκτίμηση Κόστους Εξωτερικού Υδραγωγείου

Στα πλαίσια της μελέτης γίνεται εκτίμηση του κόστους του εξωτερικού δικτύου καθώς και της μονάδας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο, ώστε να υπολογιστεί η τάξη μεγέθους. Η εκτίμηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 27 και ενδέχεται να διαφέρει από το προϋπολογισμό της τελικής μελέτης.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ						
α/α	ΕΙΔΟΣ-ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ (€)	ΤΕΛΙΚΟ ΠΟΣΟ ΠΛΗΡΩΜΗΣ (€)
1	ΥΔΡ	Σωληνώσεις πίεσεως από σωλήνες πολυαιθυλαίνιου (PE) .Ονομ.διαμέτρου DN 315 mm/PN10 atm	m	5950	82	487900
2	ΥΔΡ	Σωληνώσεις πίεσεως από σωλήνες πολυαιθυλαίνιου (PE) .Ονομ.διαμέτρου DN 315 mm/PN20 atm	m	970	150	145500
3	ΥΔΡ	Σωληνώσεις πίεσεως από σωλήνες πολυαιθυλαίνιου (PE) .Ονομ.διαμέτρου DN 315 mm/PN32 atm	m	630	230	144900
4	ΥΔΡ	Εκσκαφή ορυγμάτων υπογείων δικτύων σε έδαφος γαιώδες η ημιβραχώδες - με την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής επί αυτοκινήτου	m ³	1487.5	9.5	14131
5	ΥΔΡ	Οριζόντια διάτρηση (horizontal drilling)	m	578	800	462400
6	ΥΔΡ	Στρόβιλος Pelton	τεμ.	1	10000	10000
7	ΥΔΡ	Μηχανολογικός εξοπλισμός (Βάνες)	τεμ.	12	800	9600
8	ΥΔΡ	Εγκαταστάσεις αντιστάσιου	τεμ.	1	70000	70000
9	ΥΔΡ	Μηχανολογικός εξοπλισμός (Αντιπληγματική)	τεμ.	2	2500	5000
					Σ	1349431

Πίνακας 27: Εκτίμηση Κόστους Εξωτερικού Υδραγωγείου

7. Μέθοδος Υπόγειας Διάνοιξης

7.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Βασική διαδικασία στην μελέτη του εξωτερικού υδραγωγείου στην περιοχή πηγής Κωστηλάτα το οποίο θα τροφοδοτήσει τα χωριά Κορακάδα και Αθαμάνιο μέσω αγωγού βαρύτητας, είναι η διερεύνηση κατάλληλης μεθόδου διάτρησης του αυχένα που συνιστά φυσικό εμπόδιο, με σκοπό την αποφυγή της χρήσης αντλιών.

Δεδομένης της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης, καθίσταται σαφές πως δεν είναι δυνατή η εφαρμογή μεθόδων εκσκαφής ανοικτού τύπου για την τοποθέτηση των αγωγών. Ως εκ τούτου, απαιτείται η διάτρηση του ορεινού όγκου με πορεία εκσκαφής που έχει παρουσιαστεί διεξοδικά στο κεφάλαιο 6.

Υπό το πρίσμα αυτό, τέθηκαν υπό εξέταση ένα σύνολο μεθόδων διάνοιξης υπόγειου αγωγού που εντάσσονται στην κατηγορία των τεχνολογιών Trenchless. Οι διατρήσεις τύπου Trenchless, χρησιμοποιούνται ευρέως για την παράκαμψη εμποδίων όπου απαιτείται η διέλευση αγωγών και εξασφαλίζουν την ελάχιστη δυνατή επιφανειακή παρέμβαση στο έδαφος, κάτι που τις καθιστά ιδανικές για εφαρμογή σε έντονα αστικοποιημένο περιβάλλον.

Στα πλαίσια της εργασίας, εξετάστηκαν δύο εκ των βασικότερων αντίστοιχων τεχνολογιών

- η μέθοδος Microtunneling που αποτελεί υποκατηγορία της γενικότερης μεθόδου του PipeJacking
- η μέθοδος του Horizontal Directional Drilling

Οι μέθοδοι αυτές, εξετάζονται ενδελεχώς στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου και παρουσιάζονται οι δυνατότητες τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Η τελική επιλογή της μεθόδου θα καθοριστεί συναρτήσει των ιδιαίτερων μορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής αναφοράς καθώς και της μορφής της πορείας της υπό μελέτη διάτρησης.

7.2 Μέθοδοι Διάτρησης -Trenchless Technology

Με τον όρο Trenchless Technology γίνεται αναφορά στο σύνολο των κατασκευαστικών μεθόδων εργασίας, υλικών και ικανού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται με σκοπό την εγκατάσταση, επισκευή ή ανανέωση υπογείων

δικτύων σωλήνων, αγωγών ακαθάρτων και δικτύων σωλήνων καλωδίων με χρήση τεχνικών που ελαχιστοποιούν την ανάγκη εκσκαφής τάφρου στην εδαφική επιφάνεια. Απουσία δόκιμου όρου για την μετάφραση της μεθόδου, θα χρησιμοποιηθεί ο όρος υπόγεια διάνοιξη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

7.2.1 Πλεονεκτήματα Μεθόδων Trenchless

Δίχως αμφιβολία, η τεχνολογία της υπόγειας διάτρησης αποτελεί έναν ταχύτατα αναπτυσσόμενο κλάδο της κατασκευαστικής βιομηχανίας και, δίχως να αποτελεί πανάκεια παρά συμπληρωματική μέθοδο στις συμβατικές, εμφανίζει ένα ευρύ σύνολο πλεονεκτημάτων τόσο σε κοινωνικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο.

- *Διευκόλυνση της κίνησης οχημάτων και πεζών*

Η παρεμπόδιση της κυκλοφορίας εξαιτίας κατασκευαστικών εργασιών σε έντονα αστικοποιημένες περιοχές έχει ως αποτέλεσμα πρόκληση συμφόρησης και την αύξηση της πιθανότητας ενδεχόμενου ατυχήματος. Παράλληλα Οι μέθοδοι open cut συχνά απαιτούν την αφαίρεση πεζοδρομίων δυσχεραίνοντας έτσι τον αστικό ιστό ενώ μεταβάλουν αρνητικά την μορφή τοπικών περιοχών.

Ως εκ τούτου, μέθοδοι που ελαχιστοποιούν τις εκσκαφόμενες τάφρους εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του οδικού δικτύου και την της ασφαλή μετακίνηση των πεζών.

- *Εργατική ασφάλεια*

Η εργασία στις τάφρους διάνοιξης κατά τις συμβατικές μεθόδους εκσκαφής εμπεριέχει εξαιρετικά μεγαλύτερο ρίσκο σε αντίθεση με την υπόγεια διάτρηση με την συχνότητα ατυχημάτων να είναι 112% φορές μεγαλύτερη και δεκάδες ανθρώπους να χάνουν την ζωή τους στα εργοτάξια κάθε χρόνο.

- *Εδαφικές απορρίψεις*

Οι συμβατικές μέθοδοι απαιτούν την εκσκαφή μεγάλων ποσοτήτων εδαφικού υλικού που με την σειρά του απαιτεί χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού και εργασίας, με συνεπαγόμενη αύξηση του κόστους. Εν αντιθέσει οι μέθοδοι υπόγειας διάτρησης, εξαιτίας της απουσίας κατασκευαστικών τάφρων, μειώνουν σημαντικά την ποσότητα των εκσκαφών και των προβλεπόμενων δαπανών.

- *Αέρια και υδατική ρύπανση*

Σε open cut μεθόδους, λεπτά στερεά σωματίδια από τους όγκους εκσκαφής του εργοταξίου δύναται να εξυψωθούν με μορφή σκόνης με την βοήθεια του ανέμου και παράλληλα η βροχή μπορεί να προκαλέσει την διάβρωση και την παράσυρση ρυπασμένων εδαφικών υλικών σε ποτάμιους αποδέκτες.

- *Ηχητική ρύπανση*

Μέσω των μεθόδων υπόγειας διάτρησης αποφεύγεται η χρήση εξοπλισμού που μπορεί να προκαλέσει υψηλά επίπεδα θορύβου και κατά συνέπεια έντονη ενόχληση στις γειτνιάζουσες περιοχές.

Βασικοί παράγοντες για την επιτυχή εφαρμογή των μεθόδων υπόγειας διάνοιξης είναι η κατάρτιση αναλυτικών αποτυπώσεων, η λεπτομερής μελέτη του χώρου εγκατάστασης, ο ενδεδειγμένος σχεδιασμός και η επιλογή των κατάλληλων υλικών, της ιδανικότερης μεθόδου και του εξοπλισμού εργασίας.

Εν συνεχεία παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι υπόγειας διάτρησης που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις δυνατότητες κατεύθυνσης της χρησιμοποιούμενης μεθόδου εκσκαφής.

- Μέθοδοι μη κατευθυνόμενης διάτρησης

1. Τεχνικές Microtunneling (MT)

2. Τεχνικές PipeJacking (PJ)

- Μέθοδοι κατευθυνόμενης διάτρησης

3. Horizontal Directional Drilling (HDD)

Αξίζει να σημειωθεί πως η πρόοδος της τεχνολογίας έχει επιτρέψει την ανάπτυξη συστημάτων Pipejacking και Microtunneling που φέρουν την δυνατότητα να αλλάξουν κατεύθυνση ορίζοντας καμπύλες πορείες. Εντούτοις ο ανωτέρω διαχωρισμός εξακολουθεί να υφίστανται με σκοπό να τονίσει τις ιδιαίτερα αυξημένες δυνατότητες για αλλαγή κατεύθυνσης, επανακαθορισμού μιας καινούργιας διαδρομής σε περίπτωση που προκύψουν αξεπέραστα εμπόδια στην πορεία της αρχικής, της μεθόδου Horizontal Directional Drilling.

7.2.2 Μέθοδοι μη Κατευθυνόμενης Διάτρησης

Στις μεθόδους αυτές η ακολουθούμενη πορεία είναι συνήθως σχεδόν ευθεία γραμμή. Ως προς το κατακόρυφο επίπεδο, ο πυθμένας του αγωγού απαιτείται να βρίσκεται σε ευθεία με ορισμένη κλίση η οποία θα ενώνει τα σημεία αρχής και τέλους της σήραγγας. Ως προς το οριζόντιο, προκύπτει εκ νέου ευθεία γραμμή, με μικρή, όμως, δυνατότητα για διαγραφή ορισμένης καμπύλης κάνοντας χρήση εξειδικευμένων μεθόδων οδήγησης.

Microtunneling

Η μέθοδος Microtunneling αποτελεί υποσύνολο τεχνικών μεθόδων υπόγειας διάτρησης της ευρύτερης κατηγορίας του Pipejacking και αφορά όλες τις σήραγγες, κάτω από μια ορισμένη διάμετρο. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μεθόδων Microtunneling είναι τα παρακάτω:

- Η υπόγεια διάτρηση καθίσταται πλήρως μηχανοποιημένη και η πραγματοποίησή της γίνεται με μηχάνημα τύπου miniTBM.
- Γίνεται άμεση και ισχυρή υποστήριξη της εκσκαφής μέσω κατάλληλων ωθούμενων σωλήνων από το φρεάτιο εισόδου που ακολουθούν το μηχάνημα της εκσκαφής.
- Η διάνοιξη πραγματοποιείται μεταξύ δύο φρεατίων

- Δεν υπάρχουν εργαζόμενοι στο υπόγειο τμήμα του έργου και το μηχάνημα εκσκαφής είναι τηλεχειριζόμενο και κατευθυνόμενο από την επιφάνεια.
- Υφίστανται ανώτερη διάμετρος εκσκαφής ως όριο των μεθόδων Microtunneling στο 1 m και 1,2 m στην Ελλάδα.



Εικόνα 7.1: Κεφαλή μηχανήματος Microtunneling κατά την τοποθέτηση

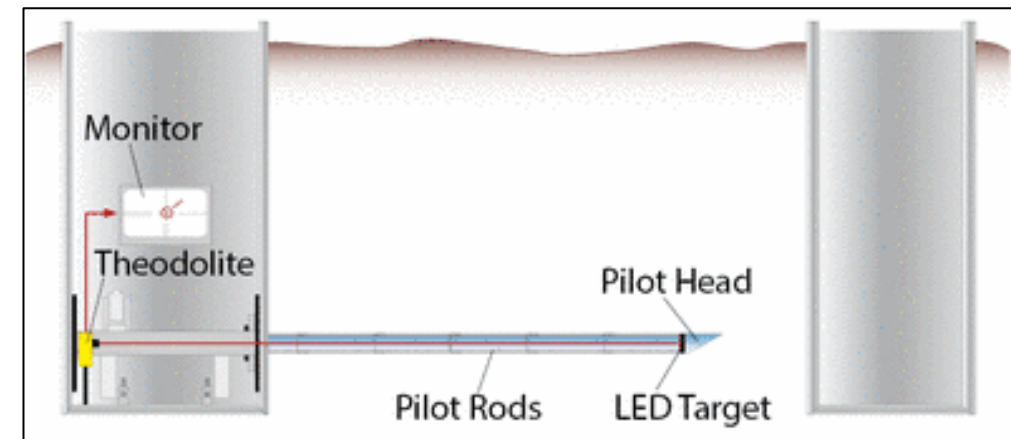
Ως προς τον τρόπο απομάκρυνσης των αδρανών υφίστανται τρία κύρια συστήματα για την μέθοδο του Microtunneling. Αυτά είναι :

1. Συστήματα με πιλοτικό σωλήνα pilot Tube micro-Tunneling (PTMT)
2. Συστήματα με ατέρμονο κοχλία (Auger)
3. Συστήματα με μηχανήμα πίεσης πολφού (slurry)

Μέθοδος διάτρησης με πιλοτικό σωλήνα PTMT

- Πραγματοποίηση πιλοτικής διάτρησης

Σε πρώτο επίπεδο, για την εκσκαφή της μικροσήραγγας πραγματοποιείται πιλοτική διάτρηση με σύνδεση των δύο φρεατίων, του φρεατίου εργασίας και του φρεατίου άφιξης. Η πιλοτική διάτρηση γίνεται με την ώθηση και περιστροφή εντός του εδάφους των στελεχών της διατρητικής στήλης, μια διαδικασία που παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.2 .



Εικόνα 7.2: Πραγματοποίηση πιλοτικής διάτρησης

Η κεφαλή του πιλοτικού αγωγού (Pilot Head) είναι ειδικά διαμορφωμένη με ορισμένο εξάρτημα που απεικονίζεται στην Εικόνα 7.3 έτσι ώστε, με κατάλληλη περιστροφή να επιτρέπει την αλλαγή κατεύθυνσης της κεφαλής και κατά συνέπεια την στροφή της διάτρησης κάνοντας την διατρητική στήλη πλήρως κατευθυνόμενη. Η στήλη αυτή θα αποτελέσει εν συνεχεία οδηγό, τον οποίο θα ακολουθήσουν οι σωλήνες της τελικής επένδυσης της υπόγειας διάτρησης.

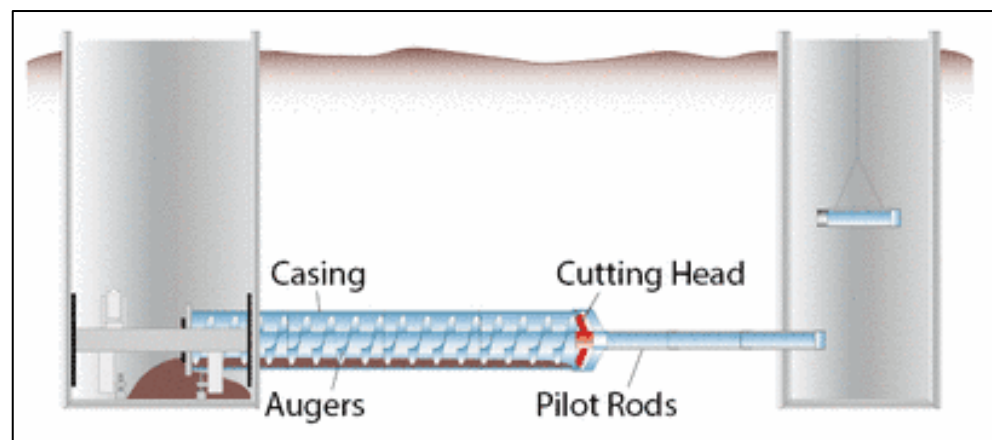


Εικόνα 7.3: Κατευθυνόμενη πιλοτική κεφαλή

Η καθοδήγηση των πιλοτικών στελεχών πραγματοποιείται με την βοήθεια συστήματος λέιζερ το οποίο στοχεύει σε στόχο που αποτελείται από ενεργές λυχνίες τύπου LED και βρίσκεται στην κεφαλή του στελέχους.

- **Διεύρυνση πιλοτικής διάτρησης**

Εν συνεχεία με την περάτωση της πιλοτικής διάτρησης, αφαιρείται η κεφαλή και πραγματοποιείται η διεύρυνση της εκσκαφής, τοποθετώντας στο τελευταίο διατρητικό στέλεχος την κεφαλή της διεύρυνσης. Η διαδικασία αυτή αναπαρίστανται στην Εικόνα 7.4 .



Εικόνα 7.4: Διεύρυνση της πιλοτικής διάτρησης

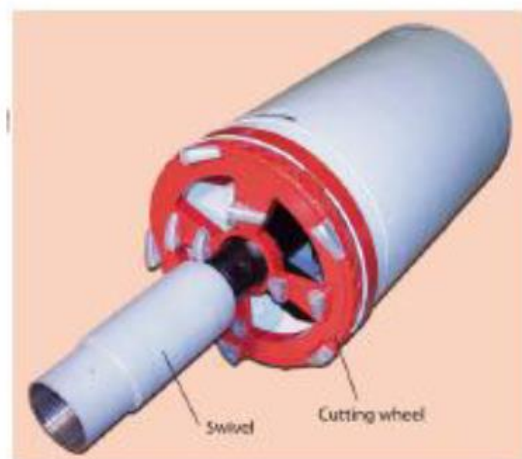
Ως προς το είδος της κεφαλής διεύρυνσης υπάρχουν δύο ειδών κεφαλές:

1. η **Παθητική κεφαλή διεύρυνσης** (Εικόνα 7.5) η οποία μέσω ισχυρών χαλύβδινων βραχιόνων συνδέει τα στελέχη της πιλοτικής διάτρησης με την σωλήνωση προστασίας (Casing Tubes) που περιέχει και τους ατέρμονες κοχλίες. Εντός αυτών υπάρχει ειδικό κοπτικό εργαλείο που αναμοχλεύει και χαλαρώνει το έδαφος το οποίο οδηγείται μέσα στην σωλήνωση, χάρις την κίνηση των κοχλιών, και στο φρέαρ εργασίας για την απομάκρυνση του. Η κοπή του εδάφους πραγματοποιείται ουσιαστικά από το κέλυφος των σωλήνων δεδομένου ότι το κοπτικό έχει μικρότερη διάμετρο από αυτό.

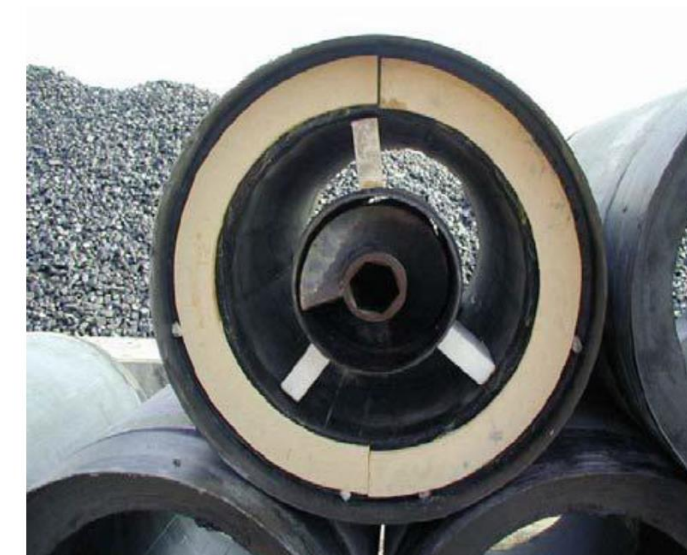


Εικόνα 7.5: Παθητική κεφαλή διεύρυνσης

2. η **Ενεργή κεφαλή διεύρυνσης** (Εικόνα 7.6) η οποία προέκυψε με την πρόοδο της τεχνολογίας ως απάντηση στην ανάγκη για πραγματοποίηση πιλοτικών διατρήσεων σε σκληρότερα και πυκνότερα εδάφη. Η κεφαλή αυτή συνδέεται με τα στελέχη της πιλοτικής διατρητικής στήλης μέσω ενός ελεύθερου στροφέα ώστε να μην περιστρέφονται τα στελέχη με την περιστροφή της κοπτικής κεφαλής. Η κεφαλή εκσκάπτει το έδαφος πλήρως και το οδηγεί μέσω του κοχλία στο φρεάτιο εργασίας.



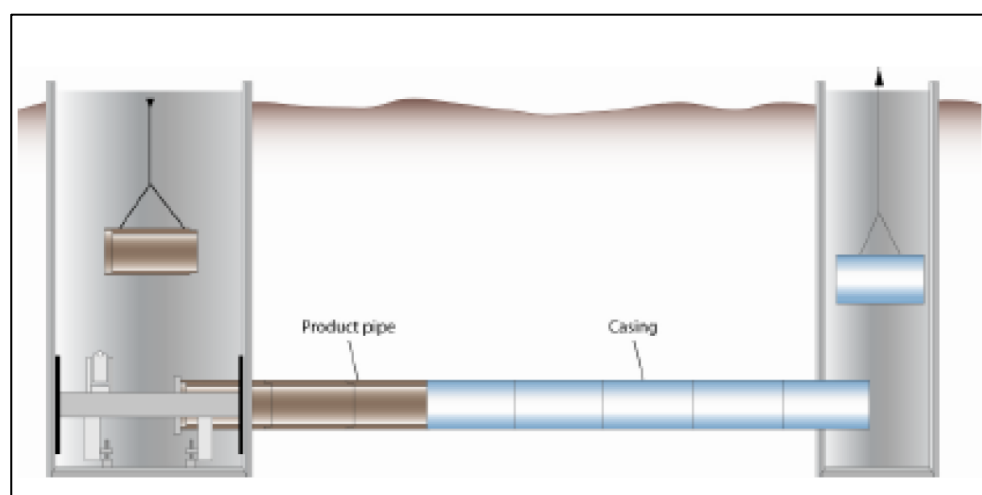
Εικόνα 7.6: Ενεργή κεφαλή διεύρυνσης



Εικόνα 7.8: Σωλήνας τελικής επένδυσης

Τελικά η σωλήνωση μαζί με τους κοχλίες ωθούνται προς τα εμπρός με περιστροφή και παράλληλα τα πιλοτικά στελέχη εξωθούνται από το φρεάτιο άφιξης, όπου πραγματοποιείται η αποσύνδεση αυτών και η απομάκρυνση τους στην επιφάνεια του εδάφους.

- **Αντικατάσταση σωλήνων Casing από τους σωλήνες τελικής επένδυσης**



Εικόνα 7.7: Τοποθέτηση τελικής επένδυσης

Στο τελευταίο στάδιο οι σωλήνες Casing εξωθούνται προς το φρεάτιο άφιξης από γίνεται η απομάκρυνση τους προς την επιφάνεια, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.8

Μέθοδος διάτρησης με ατέρμονα κοχλία

Η τεχνική διάνοιξης με ατέρμονα κοχλία αποτελεί την πιο απλή μέθοδο εκσκαφής και περιλαμβάνει μια συστοιχία κοχλιών, εντός ορισμένου μεταλλικού αγωγού που καθίσταται και η επένδυση της διάτρησης, στο εμπρόσθιο τμήμα της οποίας προσαρμόζεται κατάλληλη κοπτική κεφαλή. Η διάμετρος του σωλήνα επένδυσης είναι μεγαλύτερη των κοχλιών και της κεφαλής έτσι ώστε να μπορούν να εν δυνάμει να απομακρυνθούν. Στο φρέαρ εργασίας βρίσκεται κατάλληλα τοποθετημένο μηχάνημα που ωθεί τον σωλήνα και τους κοχλίες με την δεξιόστροφη περιστροφική κίνηση των οποίων απομακρύνονται τα εκσκαμμένα υλικά.

Ως βασικό μειονέκτημα της μεθόδου, θεωρείται η αδυναμία ελέγχου της πίεσης επί του μετώπου καθιστώντας την διαδικασία ακατάλληλη για σκληρά εδάφη και εδάφη με υψηλές στάθμες υδροφόρου ορίζοντα παρά μονάχα για ομοιογενή εδάφη χωρίς ισχυρά υδραυλικά φορτία.



Εικόνα 7.9: Κεφαλή μηχανήματος Microtunnelling με ατέρμονα κοχλία, κατά την τοποθέτηση

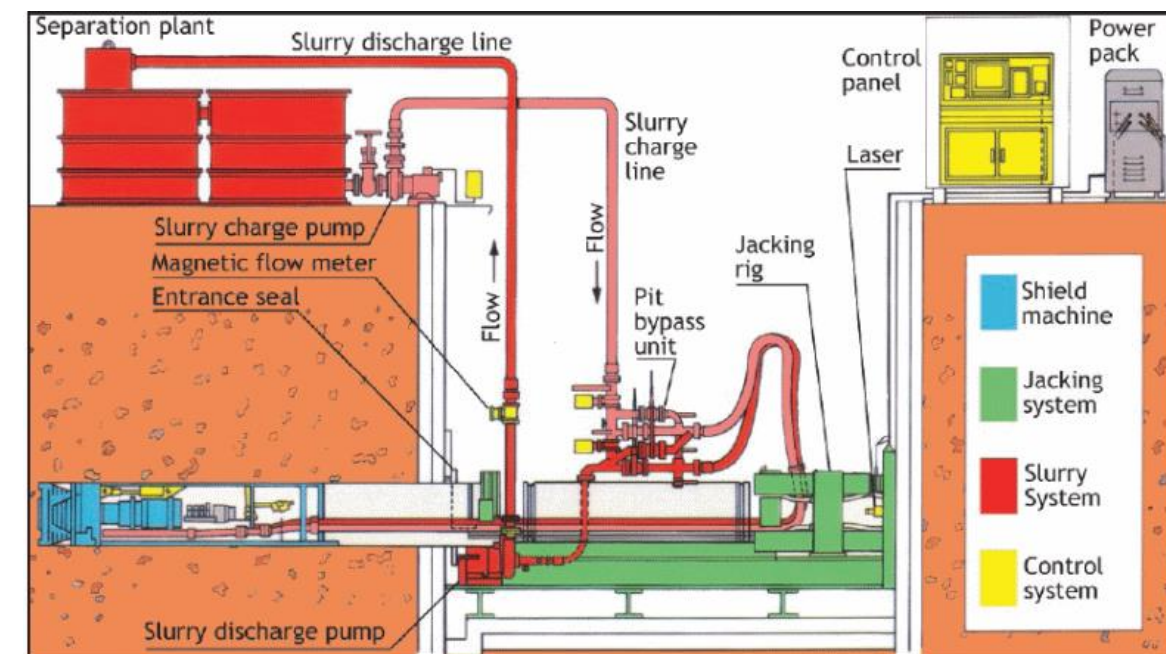


Εικόνα 7.10: Κεφαλή μηχανήματος Microtunnelling με ατέρμονα κοχλία κατά την εγκατάσταση

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, έχει επιτευχθεί η δυνατότητα κατεύθυνσης της εκσκαφής μέσω της τεχνικής Front Steer, κατά την οποία θα πραγματοποιείται οπτική καθοδήγηση με λέιζερ ή με έλεγχο της πορείας μέσω συστήματος Walkover.

Ραδιοκυμάτων. Μέσω της επεξεργασίας αυτών των σημάτων αποτυπώνεται η θέση, ο προσανατολισμός, η θερμοκρασία και η κατάσταση της μπαταρίας του πομπού τη δεδομένη στιγμή. Ο δέκτης μπορεί να λαμβάνει το σήμα από την διατρητική κεφαλή από βάθος έως και 40m με την προϋπόθεση αυτός να βρίσκεται ακριβώς επάνω από την διάτρηση.

Μέθοδος διάτρησης με μηχανήμα πίεσης πολφού



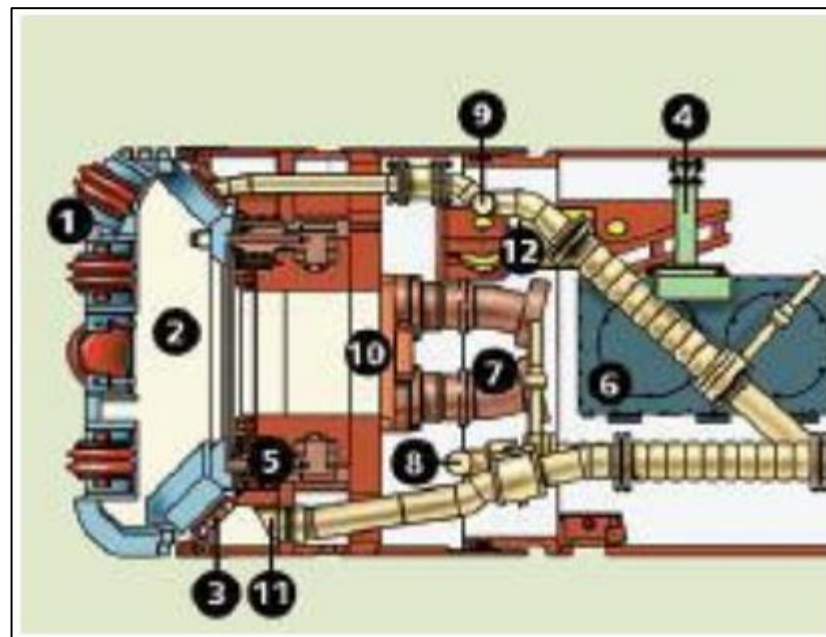
Εικόνα 7.11: Απεικόνιση διάταξης εργοταξίου διάτρησης με μηχανήμα πίεσης πολφού

Σε περιπτώσεις όπου η διαδικασία της εκσκαφής έρχεται αντιμέτωπη με δύσκολες εδαφικές συνθήκες και υψηλά φορτία νερού στα εκσκαπτόμενα εδάφη, οι προαναφερθείσες τεχνικές καθίσταται αδύνατο να εφαρμοστούν. Υπό αυτό το πρίσμα, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα συστήματα για χρήση σε αντίστοιχες δυσμενείς συνθήκες με βασικότερα των οποίων τα μηχανήματα πίεσης πολφού (Microtunneling Slurry System). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ένα αιώρημα μπετονίτη με νερό ή ένα ειδικά σχεδιασμένο τεχνητό πολυμερές με νερό- ενίοτε και ένα συνδυασμό των δύο- που παρασκευάζεται, ωριμάζει και αποθηκεύεται

επιφανειακά σε κατάλληλες στεγανές δεξαμενές. Η σημασία της λειτουργίας του πολφού έγκειται στο ότι:

- a) προσφέρει την κατάλληλη υποστήριξη στο μέτωπο της εκσκαφής
- b) αποτελεί το μέσο μεταφοράς των προϊόντων που εκσκάπτονται.

Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται άντληση του αιωρήματος αυτού έως τον κοπτικό θάλαμο, μέσω της χρήσης κατάλληλων σωλήνων που βρίσκονται εντός εκείνων της μικροσήραγγας και παράλληλα, με σκοπό την εξασφάλιση της απαραίτητης υποστήριξης στο εκσκαπτόμενο μέτωπο, ο πολφός τίθεται υπό την εκάστοτε απαιτούμενη πίεση. Στο θάλαμο κοπής, επιτυγχάνεται η ανάμειξη του πολφού με το έδαφος και η δημιουργία ενός παχύρευστου μείγματος το οποίο μεταφέρει όλα τα προϊόντα εκσκαφής. Εν συνεχεία, μέσω κατάλληλου θραυστήρα εξασφαλίζεται ότι κανένα τεμάχιο μεγαλύτερο ενός μέγιστου μεγέθους δεν πρόκειται να εισέλθει στην γραμμή των επιστρεφόμενων του συστήματος.



Εικόνα 7.12: Απεικόνιση διάταξης συστήματος πίεσης πολφού-Microtunnelling Slurry System

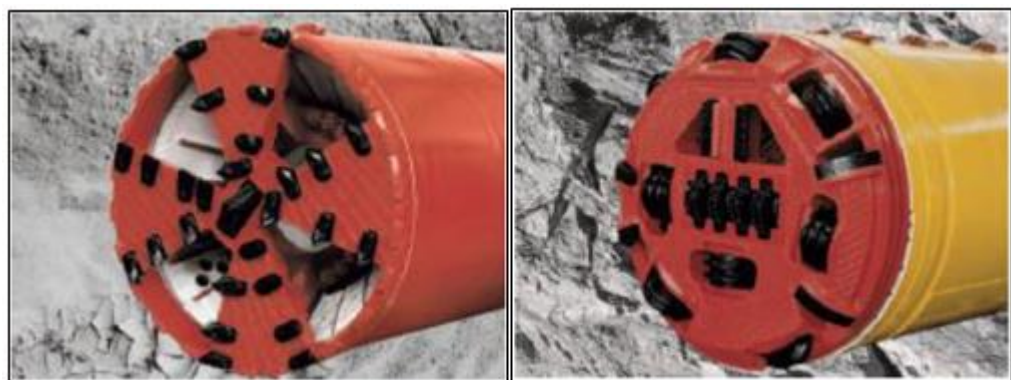
Στην εικόνα 435345 παρουσιάζεται η τομή μιας κεφαλής Microtunneling Slurry System σε συνδυασμό με την διάταξη των κύριων εξαρτημάτων της. Αναλυτικότερα απεικονίζονται:

- 1) η κοπτική κεφαλή
- 2) ο θάλαμος του θραυστήρα

- 3) ο θραυστήρας
- 4) ο πίνακας στόχου
- 5) τα κύρια ρουλεμάν της κεφαλής
- 6) ο πίνακας ενεργοποίησης
- 7) οι κινητήρες
- 8) τα ακροφύσια πλήρωσης του κενού της εκσκαφής
- 9) τα ακροφύσια πλήρωσης του κενού της κοπτικής κεφαλής
- 10) η ανθρωποθυρίδα
- 11) η θέση αναρρόφησης και
- 12) το έμβολο ελέγχου κατεύθυνσης

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της χρησιμοποιούμενης αυτής μεθόδου έγκειται στην συνεχή λειτουργία έως ότου επιτευχθεί η πλήρης ώθηση ενός προκατασκευασμένου σωλήνα, κάτι που προσδίδει στο σύστημα πίεσης πολφού μεγαλύτερη απόδοση έναντι μεθόδων ανοικτού τύπου. Αξίζει να σημειωθεί πως σε συμβατικές μεθόδους εκσκαφής, η επίτευξη της διαδικασίας αυτής διαρκεί περισσότερο και είναι διακοπτόμενη, αποτελούμενη από 6-9 κύκλους εκσκαφής καθένας από τους οποίους συνίσταται στην ανέλκυση των προϊόντων εκσκαφής στην επιφάνεια του φρεατίου και έπειτα στην επαναφορά του κάδου μεταφοράς στην θέση φόρτωσης.

Η εκσκαφή διαφορετικών τύπων εδαφών προϋποθέτει την κατάλληλη σχεδίαση της κοπτικής κεφαλής του μηχανήματος, διαφορές κατασκευής που παρουσιάζονται στις εικόνες 7.13- 7.14 για βράχο υψηλής αντοχής και για μαλακά εδάφη αντίστοιχα.



Εικόνες 7.13-7.14: Κεφαλές συστήματος πίεσης πολφού για βράχο υψηλής αντοχής και μαλακά εδάφη αντίστοιχα

PipeJacking

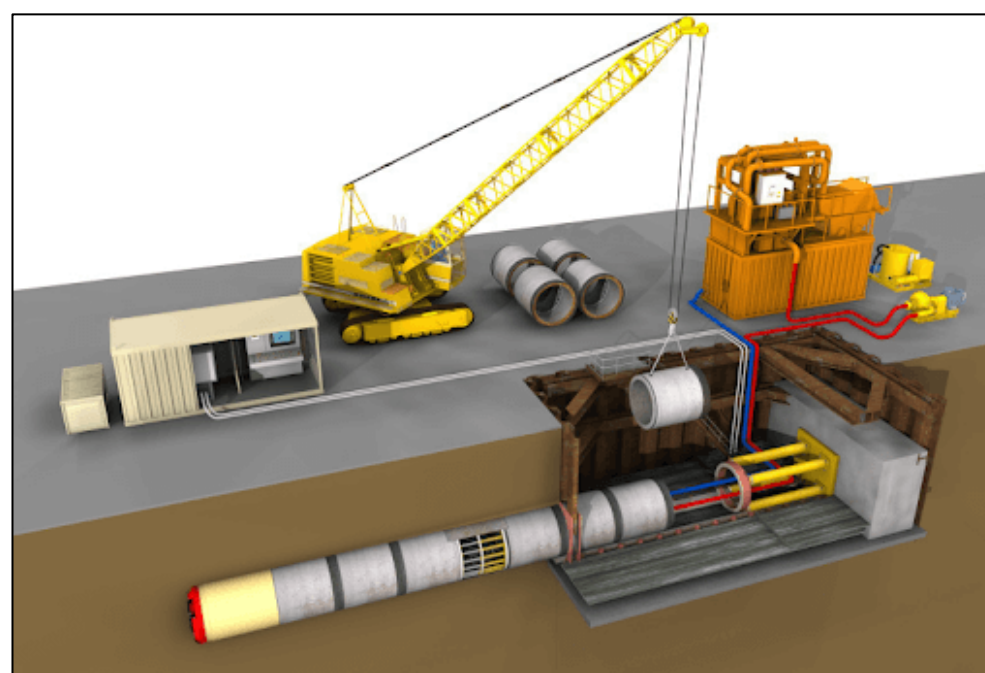
Με τον όρο PipeJacking ή ωθούμενο σωλήνα, γίνεται αναφορά στην ευρύτερη τεχνική της ώθησης και εγκατάστασης προκατασκευασμένων σωλήνων εντός του εδάφους, αποσκοπώντας στην άμεση υποστήριξη της διανοιγόμενης μικροσήραγγας και συνιστώντας παράλληλα, την τελική επένδυση της. Ο σκοπός εγκατάστασης των σωλήνων είναι η εξασφάλιση της σταθερότητας της οροφής και της ασφάλειας των πραγματοποιούμενων εργασιών, κατά την διαδικασία κατασκευής της σήραγγας, και είναι καταλλήλως σχεδιασμένοι ώστε να μπορούν να παραλάβουν μεγάλα αξονικά φορτία, δεδομένου ότι ωθούνται προς τα εμπρός από ισχυρά υδραυλικά έμβολα, όσο προχωρά η εκσκαφή στο μέτωπο της σήραγγας. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση υπόγειων αγωγών, σωλήνων αποχέτευσης ή οχετών, σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους δίχως να υφίστανται η ανάγκη για την πραγματοποίηση επιφανειακών τομών, εντάσσοντας την έτσι στις υπόγειες μεθόδους διάνοιξης (Trenchless Methods). Το εύρος των διαμέτρων των μικροσηράγγων που δύναται διανοιχθούν μέσω της μεθόδου του Pipejacking, κυμαίνεται από 150 έως 3000mm. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεδομένης της μέγιστης δυνατής διαμέτρου των προαναφερθέντων τεχνικών Microtunnelling στα 1200 mm, όλες οι μικροσήραγγες διαμέτρου άνω του 1,2 m κατατάσσονται στην κατηγορία του Pipejacking.

Η μέθοδος του ωθούμενου σωλήνα προσδίδει μια ευέλικτη, αρθρωτή, στεγανή και ολοκληρωμένη γραμμή σωλήνων με την εξέλιξη της εκσκαφής της σήραγγας. Μολονότι δεν υφίστανται όριο σε θεωρητικό επίπεδο ως προς τον μέγιστο αριθμό, ανεξάρτητων σωλήνων που δύναται να ωθηθούν, σε πρακτικό επίπεδο ζητήματα

μηχανικής και οικονομικής φύσης οριοθετούν το μέγεθος της κατασκευής. Στην Ελλάδα, περάσματα εκατοντάδων μέτρων σε ευθεία και καμπύλη τροχιά ή συνδυασμό των δύο έχουν ήδη αποπερατωθεί.

Κατά αντιστοιχία με τις μεθόδους Microtunnelling, στην τεχνική PipeJacking απαιτείται, για την εφαρμογή της και την εγκατάσταση δικτύου σωλήνων, η ύπαρξη ή η κατασκευή δύο φρεατίων. Πιο συγκεκριμένα, υφίστανται το φρεάτιο έναρξης ή εργασίας στην αρχή της διαδρομής και στο τέλος αυτής, το φρεάτιο άφιξης. Η τοποθέτηση αυτών προκύπτει συνήθως στις θέσεις των ανθρωποθυρίδων επίσκεψης του τελικού και ολοκληρωμένου αγωγού. Οι διαστάσεις και η μέθοδος κατασκευής του φρεατίου έναρξης διαφέρει ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις για κάθε πέρασμα, με τα οικονομικά δεδομένα να καθορίζουν εν τέλει τις οριστικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας. Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο ώθησης, η διάμετρος του φρεατίου μεταβάλλεται, εντούτοις δύναται να μειωθεί εφόσον απαιτείται από ειδικές περιστάσεις.

Το εργοτάξιο αναπτύσσεται περίξ της περιοχής του φρεατίου εργασίας, οργανώνεται επιφανειακά και συνίσταται από τις υποστηρικτικές εγκαταστάσεις για το μηχάνημα εκσκαφής της σήραγγας, την αποθήκη των προϊόντων εκσκαφής και την αποθήκη των τσιμεντοσωλήνων. Στην Εικόνα 7.15 παρουσιάζεται η γενική διάταξη ενός εργοστασίου Microtunnelling με την μέθοδο PipeJacking.



Εικόνα 7.15: Γενική διάταξη εργοταξίου κατασκευής μεθόδου PipeJacking

Η οργάνωση του εργοταξίου εξαρτάται από τις ακόλουθες ανεξάρτητες λειτουργικές μονάδες που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της μεθόδου PipeJacking.

- Μηχάνημα Εκσκαφής της σήραγγας
- Σύστημα Απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής
- Μονάδα ώθησης και τροφοδοσίας των προκατασκευασμένων σωλήνων επένδυσης της σήραγγας

Το σύστημα των προϊόντων εκσκαφής εξαρτάται από την τεχνολογία του μηχανήματος διάνοιξης της σήραγγας και μόνο η μονάδα ώθησης των σωλήνων καθίσταται ανεξάρτητη από όλα τα υπόλοιπα.

7.2.3 Μέθοδοι Κατευθυνόμενης Διάτρησης

Horizontal Directional Drilling (HDD)

Η ελεγχόμενης κατεύθυνσης, μέθοδος του Horizontal Directional Drilling αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α., και χαίρει ευρείας χρήσης στον τομέα της εγκατάστασης σωλήνων υπό φυσικών ή τεχνητών εμποδίων, ιδιαίτερα διαβάσεων ποταμών. Η μέθοδος αυτή έχει φέρει επανάσταση στην προσπέλαση αντίστοιχων εμποδίων, η διέλευση των σωλήνων από τα οποία γινόταν στο παρελθόν με αλλαγή πορείας και διάνυση μεγάλων αποστάσεων μέχρι ένα ευνοϊκό σημείο, όπως οι γέφυρες.

Η μέθοδος του Horizontal Directional Drilling, ένα παρακλάδι των τεχνολογιών γεώτρησης πετρελαίου, αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 από την εταιρεία Titan Construction, στο Σακραμέντο της πολιτείας της Καλιφόρνιας. Η πρώτη εφαρμογή ολοκληρώθηκε το 1971 για την Pacific Gas & Electric Co. και περιλάμβανε την εγκατάσταση ασάλινου αγωγού, περίπου 180 m και διαμέτρου 4 ιντσών, κάτω από τον ποταμό Rajago, κοντά στην πόλη Watsonville. Προ του 1979, η μέθοδος αυτή περιοριζόταν στην εγκατάσταση αγωγών μικρού μήκους. Εντούτοις, από το 1979 και ύστερα, με την υιοθέτηση της από την κατασκευαστική Reading & Bates Construction Company, η τεχνική του Horizontal Directional Drilling έχει

αναπτυχθεί σε υπερσύγχρονα επίπεδα, και πλέον δύναται να εγκατασταθούν αγωγοί μεγάλου μήκους και μιας ευρείας γκάμας διαμέτρων.

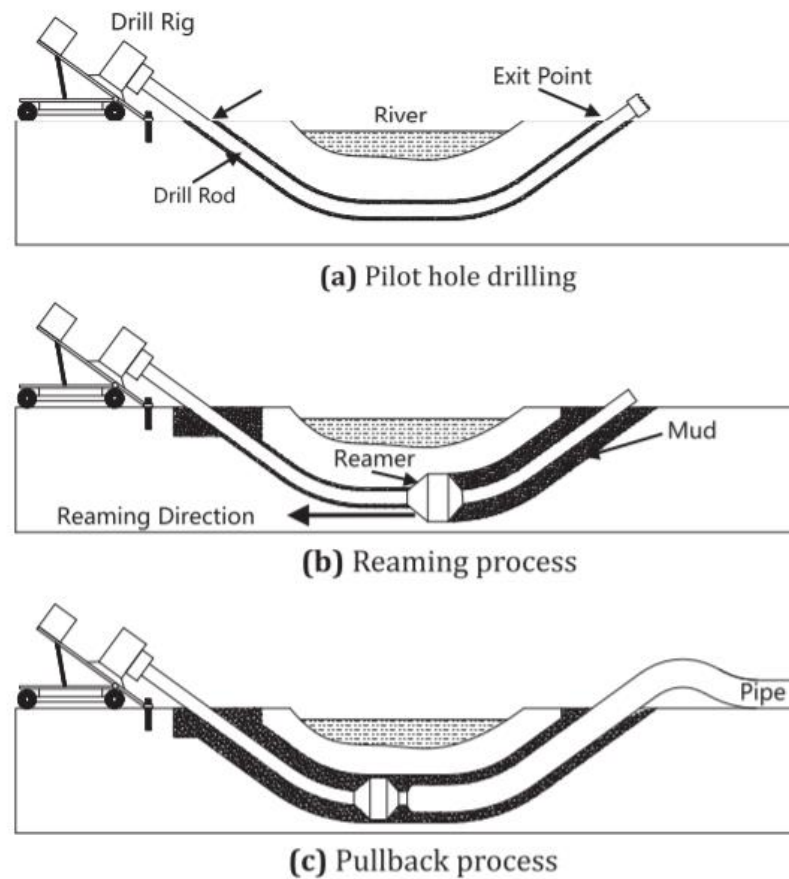
Μεταξύ του 1971 και 1979, μόνο 36 διελεύσεις υπό ποταμών είχαν πραγματοποιηθεί με την χρήση της μεθόδου αυτής και όλες εντός των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Παρ' όλα αυτά, στα επόμενα 7 χρόνια, πάνω από 175 ολοκληρωμένες διατρήσεις πραγματοποιήθηκαν με πολλές στην Νότια Αμερική, στην Ευρώπη, στην Αφρική και την Ασία. Σήμερα, υπάρχουν πολλές εταιρίες που ανταγωνίζονται στην προαναφερθείσα αγορά και ο αριθμός των αντίστοιχων διατρήσεων ξεπερνά τις 500.

Για κάποιο διάστημα, η μέθοδος του Horizontal Directional Drilling χρησιμοποιούταν κατά κύριο λόγο από την βιομηχανία πετρελαίου με γραμμές αγωγών μεταφοράς, μεγάλων διαμέτρων, σε διακρατικό επίπεδο. Σταδιακά όμως, έγινε ευρύτερα αποδεκτή και χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για γραμμές διανομής αερίου μικρότερης διαμέτρου σε αστικές περιοχές, καθώς επίσης και για γραμμές ύδρευσης και τηλεπικοινωνιών σε αεροδρόμια, λεωφόρους και κανάλια.

Ανάλυση μεθόδου

Η τεχνική Horizontal Directional Drilling είναι μια τεχνική διάτρησης που περιλαμβάνεται στην κατηγορία μεθόδων υπόγειας διάνοιξης χωρίς τομές στην επιφάνεια (Trenchless). Η τεχνική HDD περιλαμβάνει την διάτρηση μιας πιλοτικής γεώτρησης κατά μήκος μιας προτεινόμενης διαδρομής με την χρήση μιας διατρητικής στήλης με κατάλληλα στελέχη διάτρησης. Η πιλοτική οπή έχει διάμετρο, που συνήθως κυμαίνεται από 75 mm έως 150 mm. Η διαδικασία του Horizontal Directional Drilling πραγματοποιείται σε τρία στάδια τα οποία παρουσιάζονται στην εικόνα 7.16 και είναι:

1. Πραγματοποίηση πιλοτικής διάτρησης
2. Διεύρυνση της οπής
3. Εγκατάσταση νέου σωλήνα-διαδικασία Pullback



Εικόνα 7.16: Αναπαράσταση σταδίων μεθόδου Horizontal Directional Drilling

1. Πραγματοποίηση πιλοτικής διάτρησης

Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την διάτρηση της πιλοτικής οπής στην κεντρική γραμμή (center line) της προτεινόμενης διαδρομής.

Η επίτευξη της εργασίας αυτής, προϋποθέτει κατάλληλο εξοπλισμό, ο οποίος είναι:

1. το μηχάνημα διάτρησης που είναι εγκατεστημένο στην επιφάνεια του εδάφους,
2. μια ειδική διατρητική κεφαλή εγκατεστημένη στην κορυφή της διατρητικής στήλης
3. τα στελέχη διάτρησης τα οποία θα αποτελέσουν τη διατρητική στήλη και
4. το κατάλληλο διατρητικό υγρό.

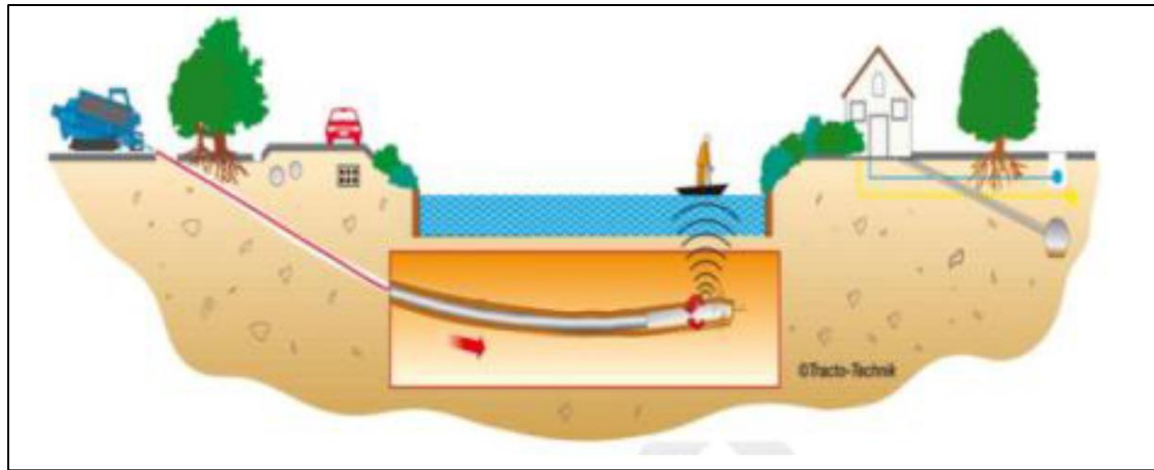
Η διαδικασία της διάτρησης ξεκινά κατευθείαν σε μία τομή του εδάφους και στην κορυφή της διατρητικής στήλης τοποθετείται ειδική διατρητική κεφαλή με

ενσωματωμένο μηχανισμό αλλαγής κατεύθυνσης. Ο έλεγχος ή η αλλαγή της ακολουθούμενης πορείας της πιλοτικής διάτρησης προς ορισμένη κατεύθυνση, επιτυγχάνεται με την κατάλληλη περιστροφή της διατρητικής στήλης και αλλαγή της ώθησης που δέχεται αυτή. Η ανωτέρω διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 7.17 όπου παρουσιάζεται το μηχάνημα διάτρησης, εγκατεστημένο στην επιφάνεια και η διατρητική στήλη που υφίστανται ώθηση εντός του εδάφους με ορισμένη κλίση.



Εικόνα 7.17: Διατρητικό μηχάνημα μεθόδου Horizontal Directional Drilling

Με σκοπό την διαρκή παρακολούθηση της θέσης της κεφαλής και του βάθους αυτής καθώς και της ευθυγραμμίας της πραγματοποιούμενης διάτρησης, πραγματοποιείται η τοποθέτηση κατάλληλου πομπού ραδιοκυμάτων, πίσω από την κεφαλή, ο οποίος μεταδίδει συνεχώς σήματα καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας. Στην Εικόνα 7.18 παρουσιάζεται σχηματικά η εξέλιξη της πιλοτικής διάτρησης και ο έλεγχος της από διάυλο ναυσιπλοΐας.



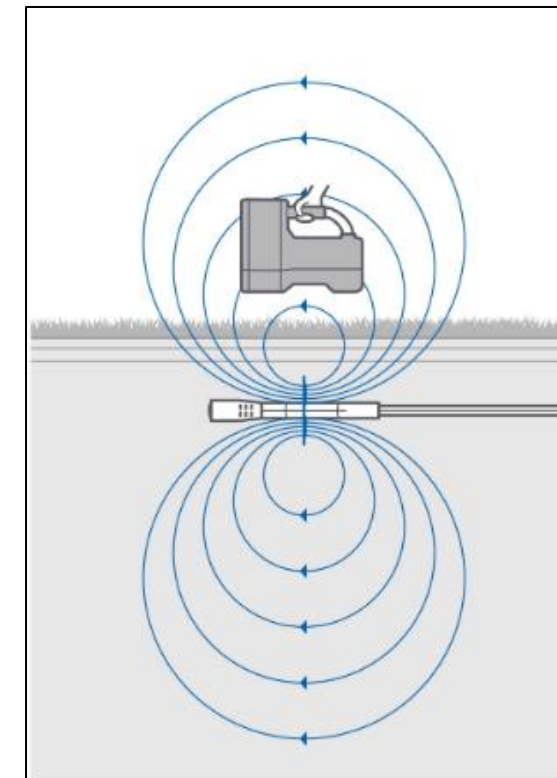
Εικόνα 7.18: Αναπαράσταση διάτρησης

Κατά αντιστοιχία με την μέθοδο Microtunneling Slurry System για την μεταφορά των προϊόντων της εκσκαφής και την απομάκρυνση τους από την γεώτρηση, γίνεται χρήση πολφού, επονομαζόμενου και διατρητικού υγρού, που συνιστά μείγμα από μπετονίτη και νερό, με πολύ συχνή την προσθήκη στο υδαρές αυτό διάλυμα και πολυμερούς για να βελτιωθεί η ικανότητα του να συντηρεί ανοικτή την οπή της διάτρησης. Η σημασία του πολφού στην διάρκεια της διαδικασίας είναι πολλαπλή, και πέρα της προαναφερθείσας προσφοράς κατάλληλης υποστήριξης στο μέτωπο της εκσκαφής και λειτουργίας ως μέσου μεταφοράς των προϊόντων που εκσκάπτονται, λειτουργεί ως λιπαντικό για τη διατρητική στήλη, μειώνοντας τις τριβές αυτής με τα τοιχώματα της γεώτρησης και παράλληλα ενεργεί ως μέσο ψύξης της κοπτικής κεφαλής. Επιπρόσθετα, πέριξ της θέσης έναρξης της πιλοτικής διάτρησης δημιουργείται κατάλληλη τάφρος με σκοπό την συγκέντρωση του εξερχόμενου υγρού της διάτρησης. Εν συνεχεία, αυτό είτε θα καθαρισθεί από τα εδαφικά τεμάχια που μεταφέρει για να τεθεί έπειτα και πάλι σε χρήση, είτε θα πραγματοποιηθεί η συγκέντρωση αυτού και η απόρριψη του με κατάλληλη διαδικασία.

Μία εκ των βασικών διαφοροποιήσεων της μεθόδου από τις μεθόδους PipeJacking είναι ο έλεγχος της διατρητικής κεφαλής από σύστημα καταγραφής, στο οποίο στέλνει σήματα ο εγκατεστημένος πομπός στην κεφαλή της διάτρησης. Το πιο σύνηθες αντίστοιχο σύστημα ελέγχου της διαδικασίας είναι το λεγόμενο Walkover, στο οποίο πραγματοποιείται καθοδήγηση της κεφαλής μέσω ενός δέκτη ραδιοκυμάτων που κινείται επιφανειακά ακολουθώντας την προδιαγεγραμμένη

διαδρομή. Ραδιοκυμάτων. Η επεξεργασία των σημάτων αυτών προσδιορίζει την θέση, τον προσανατολισμό, την θερμοκρασία και την κατάσταση της μπαταρίας του πομπού κάθε χρονική στιγμή. Με την προϋπόθεση ο δέκτης να βρίσκεται ακριβώς πάνω από την διάτρηση, το μέγιστο βάθος λήψης του σήματος του πομπού ορίζεται στα 40 m

Η μέθοδος Walkover απεικονίζεται στην Εικόνα 7.19, με σχηματική αναπαράσταση του πομπού, του δέκτη καθώς και των εκπεμπόμενων ραδιοκυμάτων.



Εικόνα 7.19: Αναπαράσταση συστήματος Walkover

Δίχως αμφιβολία, ανεξάρτητα των πλεονεκτημάτων του συστήματος ελέγχου αυτού, η αδυναμία χειρισμού σε βάθη που ξεπερνούν τα 40 m και η ανάγκη καθοδήγησης από δέκτη, ο οποίος θα βρίσκεται κάθε στιγμή πάνω από την θέση διάτρησης, οδήγησαν στην ανάπτυξη εναλλακτικών συστημάτων μεγαλύτερης αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκαν τα λεγόμενα συστήματα καθοδήγησης "Hard Wire" ή "Wire Line". Σε αυτά, τα δεδομένα από τον καταγραφέα, που εντοπίζεται στην κοπτική κεφαλή, μεταδίδονται προς την μονάδα ελέγχου μέσω καλωδίου που διατρέχει κάθε στέλεχος της διατρητικής στήλης. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού έγκεινται στην αντιμετώπιση του περιορισμού του βάθους και στην παροχή υψηλότερου δείκτη αξιοπιστίας, καθώς, εξαιτίας της υψηλής

ανθεκτικότητάς του, δύναται να λειτουργήσει σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών συνθηκών περιβάλλοντος. Τα κύρια μειονεκτήματά του συνοψίζονται στο υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου αλλά και στην χαμηλή παραγωγικότητα λόγω της χρονοβόρας διαδικασίας αλλαγής στελέχους και εμπλοκής του καλωδίου στα σπειρώματα των στελεχών διάτρησης.

2. Διεύρυνση της οπής

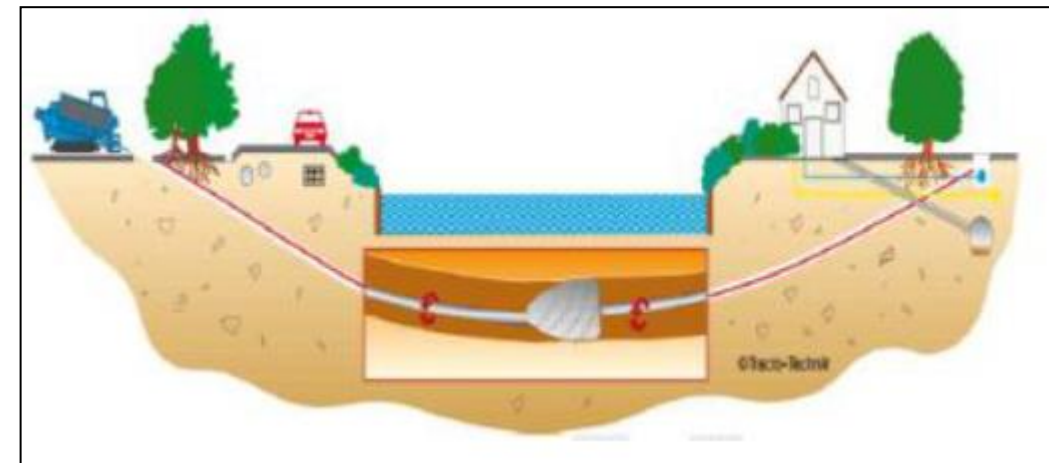
Με την περάτωση της πιλοτικής διάτρησης ξεκινά το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας του Horizontal Directional Drilling. Στο βήμα αυτό, κατά την έξοδο της κοπτικής κεφαλής στην επιφάνεια του εδάφους ή στην τάφρο εξόδου, τοποθετείται σε αυτήν κατάλληλος διευρυντήρας, η χρήση του οποίου επιτυγχάνει την διεύρυνση της πιλοτικής οπής. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται η έλκυση του διευρυντήρα μαζί με την διατρητική στήλη, πίσω στο σημείο έναρξης της πιλοτικής οπής, ενώ παράλληλα τίθεται σε περιστροφή και διευρύνει έτσι την αρχική διάμετρο της διάτρησης. Κατόντη του διευρυντήρα, ακολουθούν είτε διατρητικά στελέχη μεγαλύτερης διαμέτρου είτε ο τελικός σωλήνας που θα αποτελέσει και τον αγωγό λειτουργίας.



Εικόνα 7.20: Διευρυντήρας πιλοτικής οπής

3. Εγκατάσταση νέου σωλήνα-διαδικασία Pullback

Το τελικό στάδιο της μεθόδου Horizontal Directional Drilling περιλαμβάνει την εγκατάσταση νέου σωλήνα και ονομάζεται έλκυση “Pullback”. Μέσω ειδικού εξαρτήματος ελεύθερου στροφέα ο οποίος αποτρέπει την περιστροφή του σωλήνα λόγω της εκείνης του διευρυντήρα, πραγματοποιείται η προσαρμογή του σωλήνα στο τέλος της διατρητικής στήλης. Με την χρήση του διευρυντήρα εξασφαλίζεται ότι η οπή θα παραμείνει ανοικτή κατά την διάρκεια της έλκυσης και ότι θα πραγματοποιείται η άντληση του λιπαντικού από την οπή. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας σηματοδοτείται όταν ο νέος σωλήνας φθάσει στο γεωτρύπανο στην αρχή της διάτρησης, όπου και πραγματοποιείται η αποσύνδεση όλων των εξαρτημάτων και των στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία της διάτρησης.



Εικόνα 7.21: Διεύρυνση της οπής και εγκατάσταση νέου σωλήνα

Αναφορικά με τα έργα Horizontal Directional Drilling, πρωτεύουσας σημασίας καθίσταται ο υπολογισμός της σωστής πίεσης, της σωστής ποιότητας και της σωστής ποσότητας του πολφού του οποίου θα πραγματοποιηθεί χρήση στην διάτρηση. Η ομαλή ολοκλήρωση ενός σχετικού έργου βάλλεται από ένα σύνολο κινδύνων η οποίοι είναι:

1. Ενδεχόμενη κατάρρευση της διάτρησης εξαιτίας της απώλειας του πολφού
2. Χρήση ακατάλληλου πολφού

3. Πιθανή εισροή ύδατος στην διάτρηση
4. Διόγκωση του εδάφους λόγω υψηλής πίεσης του πολφού
5. Το μικρό βάθος από την επιφάνεια
6. Η πιθανή γρήγορη έλκυση του διευρυντήρα

Η εφαρμογή ενός ορθολογικού σχεδιασμού διάτρησης και χρήσης των χρησιμοποιούμενων υγρών δύνανται να εξασφαλίσουν ελαχιστοποίηση των πιθανών κινδύνων και μείωση του κόστους του έργου.

Η μέθοδος του Horizontal Directional Drilling εφαρμόζεται με επιτυχία σε ομοιογενή μαλακά εδάφη όπως ιλύς, άμμοι, οι ομοιογενείς άργιλοι αλλά και σε συμπαγείς σχηματισμούς βράχων. Η απόδοση της μεθόδου δεν είναι ικανοποιητική όταν η περιοχή της διάτρησης χαρακτηρίζεται από χαλικώδη εδάφη με εναλλαγές, εδάφη με ογκόλιθους ή κροκάλες και μη συνεχή στρώματα βράχου. Αμμώδη εδάφη, στρώματα ασβεστόλιθου και γενικότερα εναλλασσόμενοι εδαφικοί σχηματισμοί στα μικτά εδάφη δύνανται να προκαλέσουν δυσχέρειες στον έλεγχο της κατεύθυνσης. Επιπρόσθετα, σε αντίστοιχες συνθήκες, εξαιτίας της ύπαρξης κενών και πολλαπλών στρωματικών εναλλαγών, αυξάνεται η πιθανότητα απώλειας υγρών και κατά συνέπεια δημιουργούνται μεγάλα προβλήματα κατά την διάτρηση, αύξηση του χρόνου περάτωσης του έργου και κατ' επέκταση αύξηση του κόστους των εργασιών. Αξίζει να σημειωθεί πως σε περίπτωση που ανευρεθούν αξεπέραστα εμπόδια κατά την διαδικασία της διάτρησης, δύνανται η στήλη να ελκυσθεί στην αρχή της πιλοτικής οπής και να προγραμματιστεί καινούργια διαδρομή, προσδίδοντας στην μέθοδο του Horizontal Directional Drilling την απαραίτητη ευελιξία για την επίτευξη του έργου.

7.3 Σύγκριση Μεθόδων – Τελική Επιλογή

Με την παρουσίαση των υπό εξέταση μεθόδων διάτρησης και την ενδελεχή ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, απαιτείται στην συνέχεια η επιλογή της ιδανικότερης για την διάνοιξη του ορεινού όγκου.

Αρχικά, ως προς τις μη κατευθυνόμενες μεθόδους, σημειώνεται πως η μέθοδος του PipeJacking δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί εξαιτίας των μεγάλων διαμέτρων των διατρήσεων που προκύπτουν, που υπερβαίνουν κατά πολύ τα 0,3 m που αντιστοιχούν στην διάμετρο του αγωγού βαρύτητας. Υπό εξέταση τίθεται η υποκατηγορία αυτής, η μέθοδος Microtunneling και πιο συγκεκριμένα το σύστημα διάτρησης με μηχανήμα πίεσης πολφού. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην δυνατότητα του συστήματος αυτού για εκσκαφή σε πιο δυσμενείς συνθήκες και στην ευελιξία που προσφέρει.

Με την τελική σύγκριση των μεθόδων Microtunnelling Slurry System και Horizontal Directional Drilling προκύπτει ότι ιδανικότερη για την εφαρμογή στην παρούσα μελέτη καθίσταται η μέθοδος της κατευθυνόμενης οριζόντιας διάτρησης. Η ευελιξία του Horizontal Drilling για επανακαθορισμό της πορείας της εκσκαφής σε περίπτωση ανεύρεσης αξεπέραστων εμποδίων, η δυνατότητα πραγματοποίησης διατρήσεων καμπύλων τροχιών καθώς και η μείωση του οικονομικού κόστους κατέστησαν καθοριστικής σημασίας παράγοντες για την λήψη της τελικής απόφασης. Η προκύπτουσα πορεία της διάτρησης δεν αποτελείται από αυστηρά ευθύγραμμα τμήματα και η ανάγκη για αλλαγή κατεύθυνσης κατά την διάρκεια της περάτωσης του έργου, αναδεικνύουν την μέθοδο του Horizontal Directional Drilling ως την ιδανικότερη επιλογή.

8. Εκμετάλλευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

8.1 Γενικά

Υδραυλική και εν μέρει υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλες, που την αποθηκεύουν, ώστε τελικά να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις. Στον γήινο κύκλο του νερού η ενέργεια προέρχεται κυρίως από τον ήλιο που εξατμίζει, μεγάλες ποσότητες νερού. Η εκμετάλλευση της ενέργειας στον κύκλο αυτό γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρες, φράγματα, κλειστοί αγωγοί πτώσεως, υδροστρόβιλοι, ηλεκτρογεννήτριες, διώρυγες φυγής).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλεύομενη την ενέργεια του νερού καλείται υδροηλεκτρική ενέργεια. Το νερό ευρισκόμενο σε μεγάλα υψόμετρα έχει δυναμική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε κινητική κατά την ροή σε χαμηλότερα υψόμετρα. Στη συνέχεια, με την χρήση των υδροστροβίλων παράγεται μηχανική ενέργεια η οποία τελικά μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών. Το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ). Η δέσμευση και αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για έναν Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υδροηλεκτρική ενέργεια καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Βασικά πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας.

- Είναι μία καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλλει στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.
- Αποτελεί την μόνη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλη κλίμακα και αξιόπιστα μέσω των ταμιευτήρων.
- Διακρίνεται από υψηλούς βαθμούς απόδοσης που μπορούν να ξεπεράσουν το 90%.
- Η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού και δεν αφήνει απόβλητα ή κατάλοιπα που μολύνουν το περιβάλλον.
- Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος αλλά και δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης τοπικών ενεργειακών πόρων.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (συμβατικός ωφέλιμος χρόνος ζωής 100 έτη).
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

8.2 Ιστορική Αναδρομή

Από την εποχή της αρχαίας Αιγύπτου, οι άνθρωποι έχουν χρησιμοποιήσει την ενέργεια σε ρέοντα ύδατα για τη λειτουργία μηχανημάτων και άλεσμα σιτηρών και καλαμποκιού. Ο νερόμυλος ήταν η πρώτη μηχανή παραγωγής έργου που κατασκεύασε ο άνθρωπος με τη χρήση φυσικής, ήπιας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Με τη δύναμη που δημιουργεί η πτώση του νερού από ψηλά ή η ροή του και με τη βοήθεια του τροχού, εφεύρεση που άλλαξε την ανθρώπινη ιστορία, κινήθηκαν απλές και στη συνέχεια πολύπλοκες μηχανές, που κάλυψαν τις περισσότερες ανάγκες των προβιομηχανικών κοινωνιών, αντικαθιστώντας στις πρώιμες μηχανές την ανθρώπινη ή ζωική δύναμη (χειρόμυλοι και ζώομυλοι), κινητήριες δυνάμεις πριν το νερό και τον αέρα. Με τον νερόμυλο και την βοήθεια της μυλόπετρας επίσης γινόταν η άλεση του σιταριού. Η σύλληψη των πρώτων

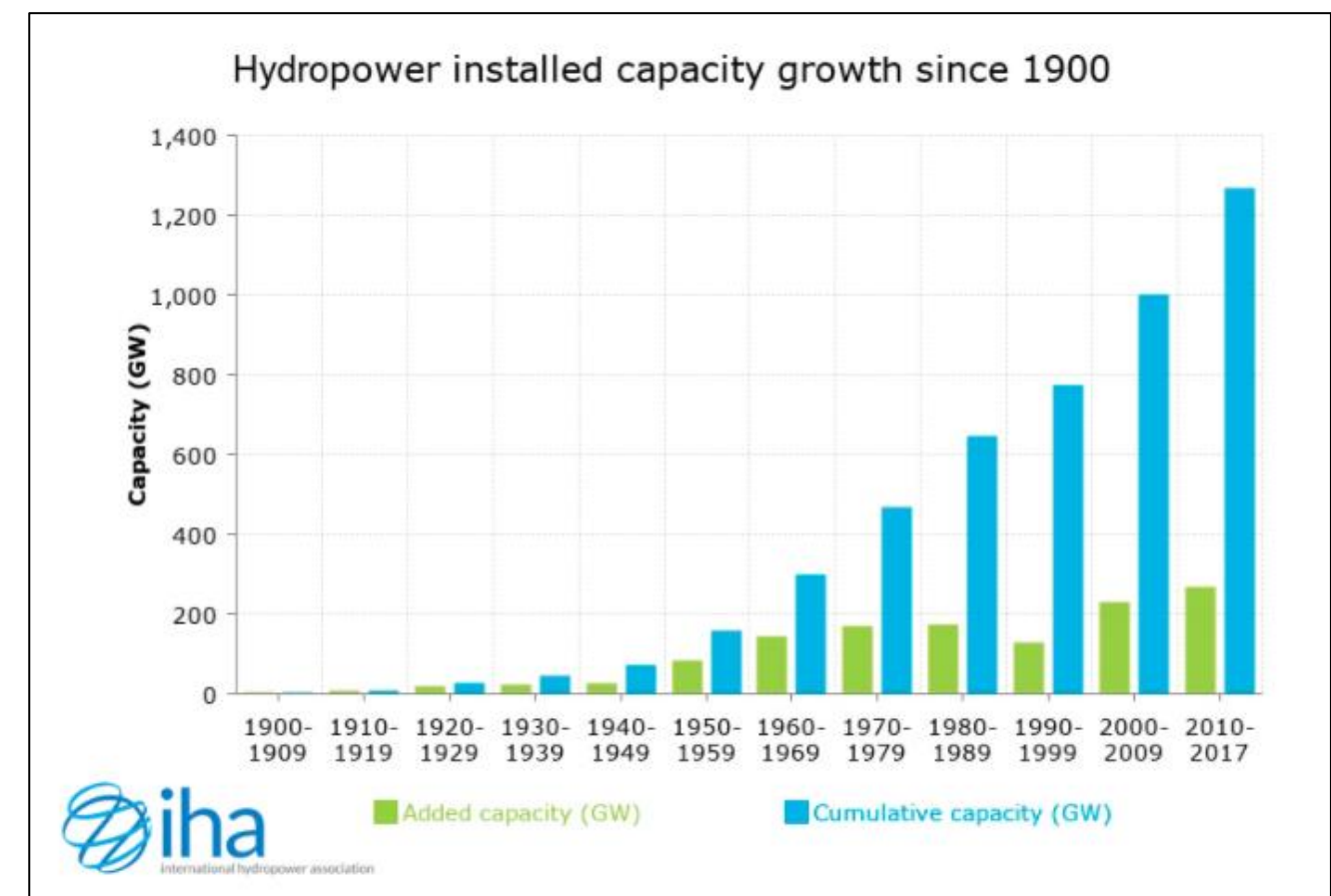
κατασκευών για την ενεργειακή αξιοποίηση του νερού προήλθαν από την Κίνα κατά τη διάρκεια της δυναστείας των Χαν μεταξύ 202 π.Χ. και 9 μ.Χ. Η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιήθηκε τότε για το λιώσιμο και ξεφλούδισμα σπόρων, για το σπάσιμο των μεταλλευμάτων και την πρώιμη κατασκευή χαρτιού.

Οι βασικές εξελίξεις στην τεχνολογία υδροηλεκτρικής ενέργειας συνέβησαν πολύ αργότερα στο πρώτο μισό του δέκατου ένατου αιώνα. Το 1827, ο Γάλλος μηχανικός Benoit Fourneyron ανέπτυξε μια τουρμπίνα ισχύος περίπου 6 ίππων ($\approx 4.5 \text{ KW}$). Το πρώτο υδροηλεκτρικό έργο στον κόσμο χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία ενός μόνο λαμπτήρα στο Northumberland της Αγγλίας, το 1878. Τέσσερα χρόνια αργότερα το 1882, το πρώτο εργοστάσιο που εξυπηρετούσε ένα σύστημα ιδιωτικών και εμπορικών πελατών άνοιξε στο Ουισκόνσιν των ΗΠΑ και εντός μιας δεκαετίας λειτουργούσαν εκατοντάδες υδροηλεκτρικές μονάδες, καθώς η νέα τεχνολογία εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο. Σημείο αναφοράς αποτελεί και το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στους καταράκτες του Νιαγάρα που κατασκευάστηκε το 1895 στο συνέβαλλε και ο Νίκολα Τέσλα.

Στον τον 20ο αιώνα διαδόθηκε και εφαρμόστηκε ευρέως η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και ήταν ο αιώνας που γνώρισε ραγδαίες καινοτομίες και αλλαγές στο σχεδιασμό εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας. Οι πολιτικές που εφαρμόστηκαν από τον Πρόεδρο των ΗΠΑ Φράνκλιν Ρούσβελτ, συμπεριλαμβανομένης της Νέας Συμφωνίας τη δεκαετία του 1930, υποστήριξαν την κατασκευή πολλών έργων πολλαπλών χρήσεων όπως τα φράγματα Hoover και Grand Coulee με υδροηλεκτρική ενέργεια που αντιπροσωπεύουν το 40% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας έως το 1940. Από τη δεκαετία του 1940 έως τη δεκαετία του 1970, που προωθήθηκε αρχικά από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ακολουθούμενη από έντονη οικονομική ανάπτυξη και αύξηση του πληθυσμού, οι κρατικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δημιούργησαν σημαντικές εξελίξεις υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη τη Δυτική Ευρώπη, καθώς και τη Σοβιετική Ένωση, τη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία. Η υδροηλεκτρική ενέργεια χαμηλού κόστους θεωρήθηκε ως ένας από τους καλύτερους τρόπους για την κάλυψη της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης και συχνά συνδέεται με την ανάπτυξη βιομηχανιών έντασης ενέργειας, όπως τα χυτήρια αλουμινίου και τα χαλυβουργεία. Τις τελευταίες δεκαετίες του εικοστού αιώνα, η Βραζιλία και η Κίνα έγιναν παγκόσμιοι ηγέτες στην υδροηλεκτρική ενέργεια. Το φράγμα Itaipu, που

εκτείνεται στη Βραζιλία και την Παραγουάη, άνοιξε το 1984 με ισχύ 12.600 MW - έκτοτε έχει διευρυνθεί και αναβαθμιστεί σε 14.000 MW - και σήμερα έχει αποκλειστεί μόνο από το φράγμα Three Gorges 22.500 MW στην Κίνα. Η αύξηση της παραγωγικής ικανότητας Decadal σταμάτησε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 πριν πέσει στη δεκαετία του 1990. Αυτό οφειλόταν σε αυξανόμενους οικονομικούς περιορισμούς και ανησυχίες που εκφράστηκαν για τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις της ανάπτυξης υδροηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες διέκοψαν πολλά έργα σε όλο τον κόσμο.

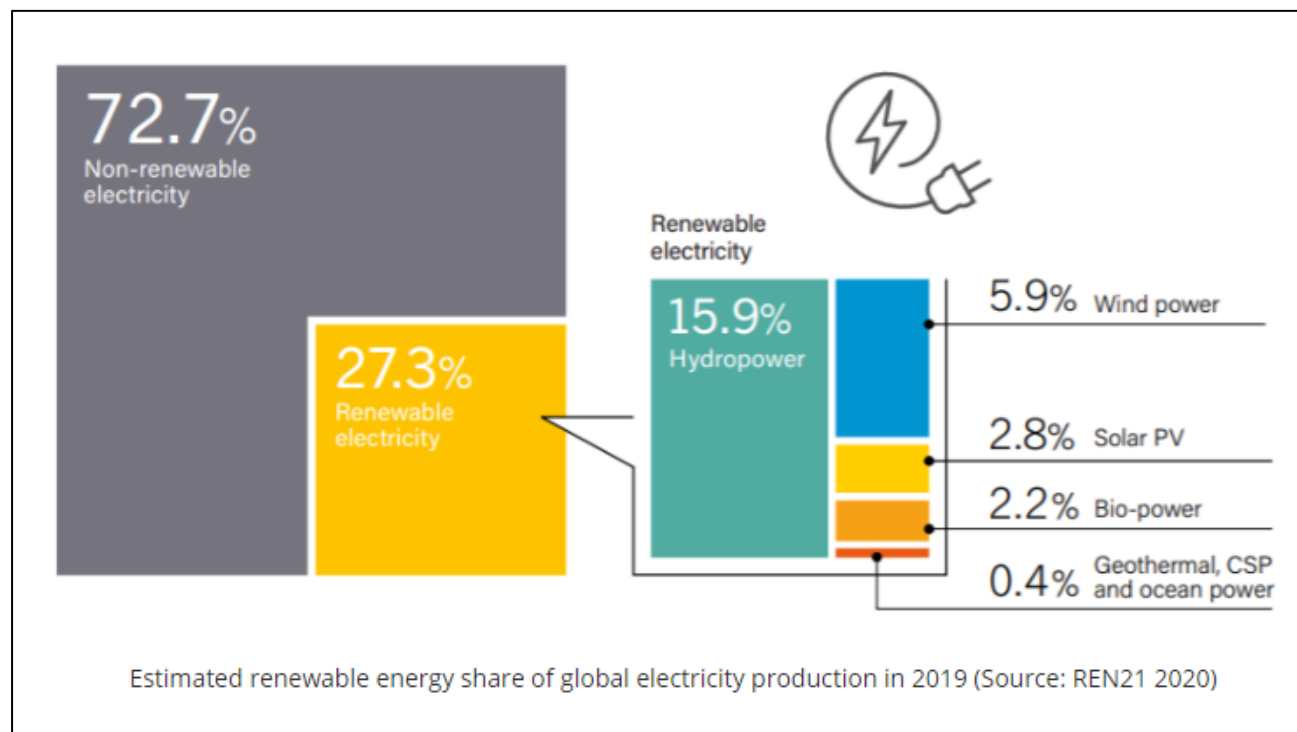
Ο δανεισμός και άλλες μορφές στήριξης από διεθνή χρηματοπιστωτικά ιδρύματα (ΔΧΙ), κυρίως η Παγκόσμια Τράπεζα, έπεσαν στα τέλη της δεκαετίας του 1990, γεγονός που επηρέασε ιδιαίτερα την κατασκευή υδροηλεκτρικής ενέργειας στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η εξέλιξη και η διάδοση της υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται γραφικά στην Εικόνα 8.1.



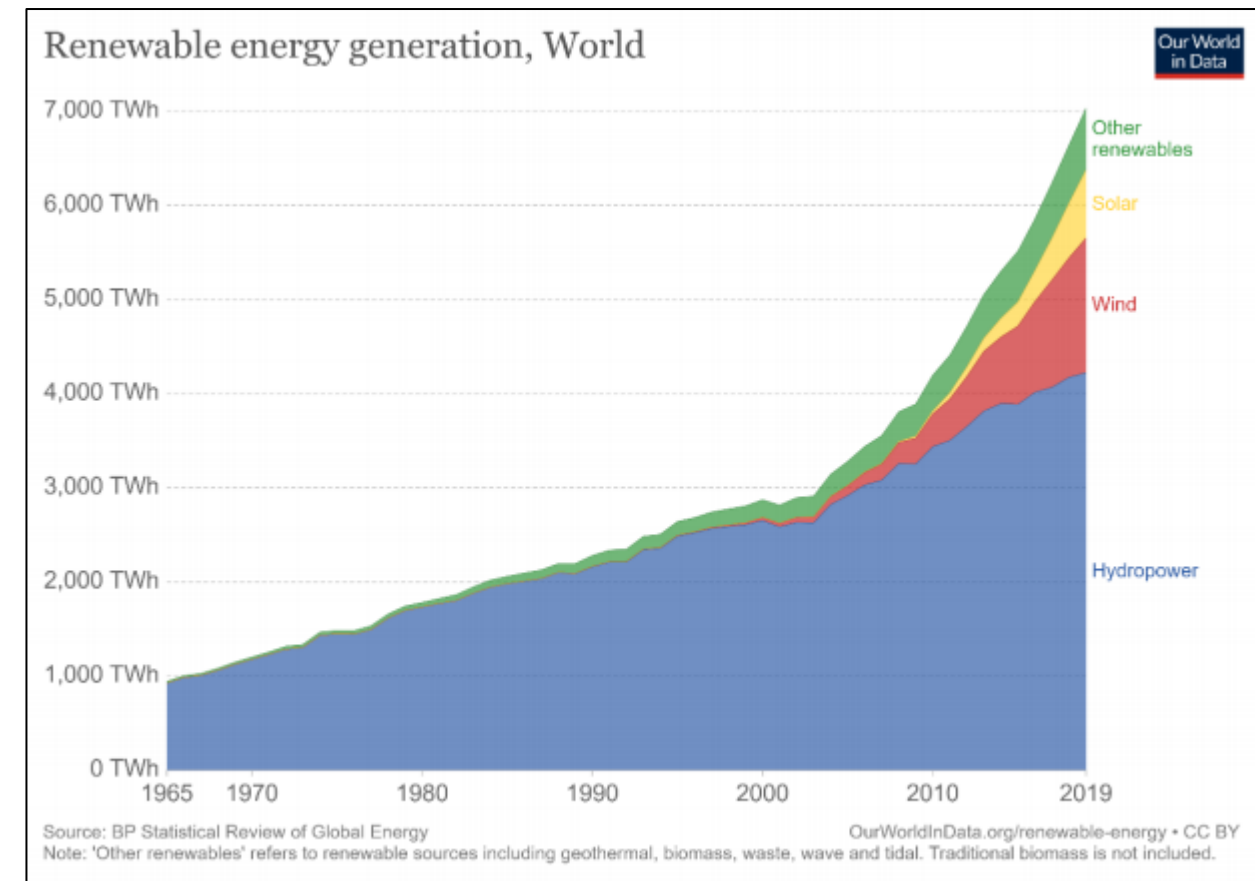
Εικόνα 8.1: Εξέλιξη Δυναμικότητας της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας 1900 - 2017

Λίγο μετά την αλλαγή του 21ου αιώνα, η ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας κέρδισε μια νέα δυναμική, ιδιαίτερα σε ολόκληρη την Ασία και τη Νότια Αμερική. Μεταξύ 2000 και 2017, σχεδόν 500 GW εγκατεστημένης ισχύος υδροηλεκτρικής ενέργειας προστέθηκαν παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας αύξηση 65 τοις εκατό, με ανάπτυξη από το 2010 να ξεπερνά ήδη αυτή που καταγράφηκε την πρώτη δεκαετία του αιώνα.

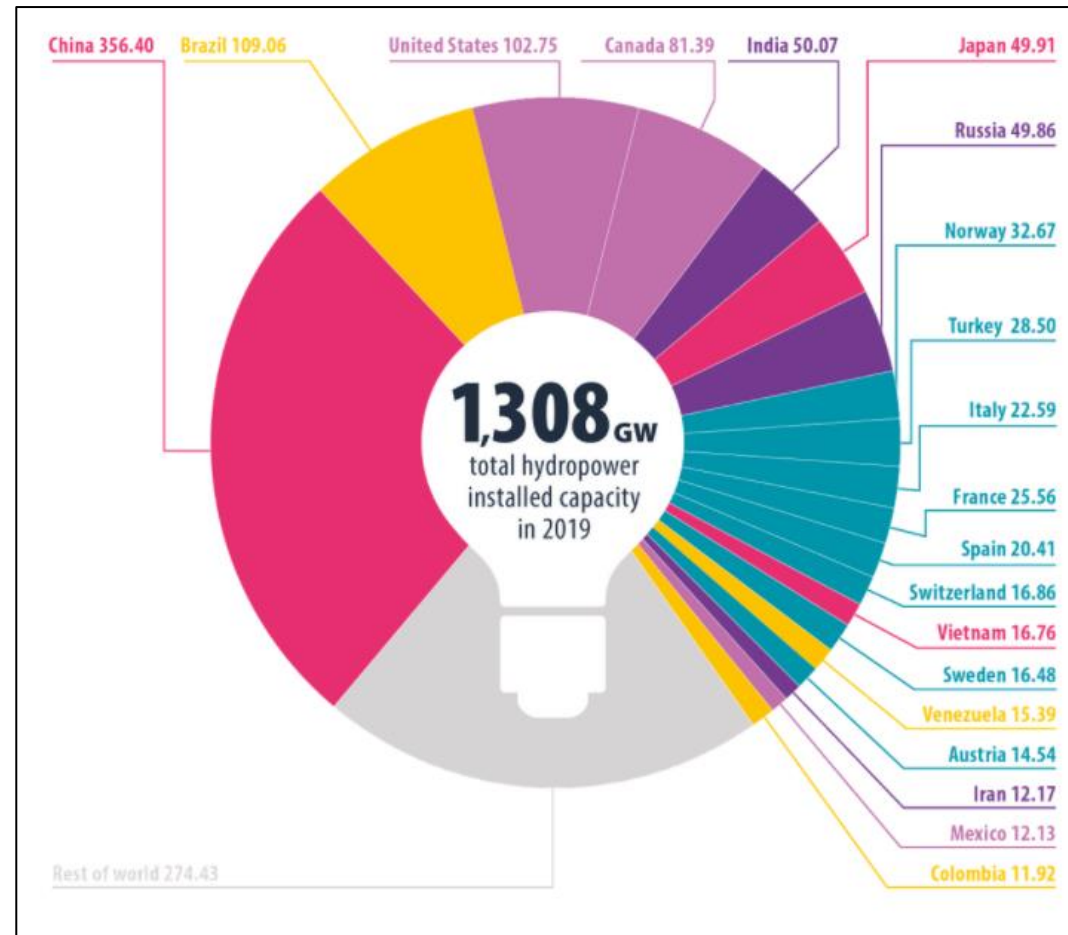
Σήμερα, η υδραυλική ενέργεια αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας και αποτελεί περίπου το 16% της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας (Εικόνα 8.2, IHA 2019). Επίσης το 2019 εγκατεστημένη ισχύς της υδροηλεκτρικής ενέργειας έφτασε τα 1308 GW καθώς η παραγωγή έφτασε στο ρεκόρ των 4.306 TWh. (Εικόνα 8.3) Στην Εικόνα 8.4 παρουσιάζεται η παγκόσμια κατανομή εγκατεστημένης ισχύος υδροηλεκτρικής ενέργειας, με την Κίνα να καταλαμβάνει το υψηλότερο ποσοστό.



Εικόνα 8.2: Υδραυλική Ενέργεια ως ποσοστό της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας



Εικόνα 8.3: Εγκατεστημένη Ισχύς της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας το 2019



Εικόνα 8.4: Παγκόσμια Κατανομή Εγκατεστημένης Ισχύς Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

8.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια – Ελλάδα

8.3.1 Γενικά

Στη Δυτική και Βόρεια Ελλάδα υπάρχει ιδιαίτερα πλούσιο δυναμικό υδατοπτώσεων, λόγω της διαμόρφωσης λεκανών απορροής με έντονες κλίσεις καθώς και των σημαντικών βροχοπτώσεων.

Στην Ελλάδα με βάση τα στοιχεία του 2017, το 6% της ενέργειας παράχθηκε από υδροηλεκτρικούς σταθμούς. (Εικόνα 8.5)



Εικόνα 8.5: Ποσοστό Παραγωγής Ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς

Γενικά, η μέση συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει το 8-10% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια που προέρχεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς καλύπτει ηλεκτρικά φορτία αιχμής. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι 3060 MW και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας κυμαίνεται από 4000 έως 5000 GWh.

Τα τρία μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα βρίσκονται στα Κρεμαστά (437 MW), στο Θησαυρό (384 MW) και στο Πολύφυτο (375 MW). Η κατασκευή μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα ξεκίνησε το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα από την Δ.Ε.Η. και γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη μέχρι και τα τέλη του. Μερικά σημαντικά ακόμα υδροηλεκτρικά έργα βρίσκονται στον Αχελώο ποταμό όπως στο Καστράκι (320 MW), στην λίμνη Πλαστήρα (130 MW) και στην Μεσοχώρα (εκτός λειτουργίας) (160 MW) ενώ ένα από τα πιο καινοτόμα είναι ο Υβριδικός Σταθμός Ικαρίας.

Αντίστοιχα σημαντικά μικρά υδροηλεκτρικά έργα (Μ.Υ.Η.Ε.), χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης είναι της Δαφνοζωνάρας (5.93 MW), των Θεοδώριανων (3.9 MW) και της Γκιώνας (8.67 MW). Συνοπτικά στην Εικόνα 8.6 παρουσιάζονται τα 27 υδροηλεκτρικά έργα της Δ.Ε.Η. που είναι σε λειτουργία.

27 Υδροηλεκτρικά έργα της ΔΕΗ σε λειτουργία

16 ΜΕΓΑΛΑ ΥΗ ΕΡΓΑ

- ✓ ΑΓΡΑΣ (1954)
- ✓ ΛΑΔΩΝΑΣ (1955)
- ✓ ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ (1960)
- ✓ ΚΡΕΜΑΣΤΑ (1966)
- ✓ ΚΑΣΤΡΑΚΙ (1969)
- ✓ ΕΔΕΣΣΑΙΟΣ (1969)
- ✓ ΠΟΛΥΦΥΤΟ (1974)
- ✓ ΠΟΥΡΝΑΡΙ (1981)
- ✓ ΑΣΩΜΑΤΑ (1985)
- ✓ ΣΦΗΚΙΑ (1985)
- ✓ ΣΤΡΑΤΟΣ (1989)
- ✓ ΠΗΓΕΣ ΑΩΟΥ (1990)
- ✓ ΘΗΣΑΥΡΟΣ (1997)
- ✓ ΠΟΥΡΝΑΡΙ II (1999)
- ✓ ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗ (1999)
- ✓ ΙΛΑΡΙΩΝΑΣ (2013)

11 ΜΙΚΡΑ ΥΗ ΕΡΓΑ

- ✓ ΓΛΑΥΚΟΣ (1927)
- ✓ ΒΕΡΜΙΟ (1929)
- ✓ ΑΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ (1929)
- ✓ ΑΛΜΥΡΟΣ ΚΡΗΤΗΣ (1931)
- ✓ ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΕΡΡΩΝ (1931)
- ✓ ΛΟΥΡΟΣ (1954)
- ✓ ΓΚΙΩΝΑ (1988)
- ✓ ΣΤΡΑΤΟΣ II (1988)
- ✓ ΜΑΚΡΟΧΩΡΙ (1992)
- ✓ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ ΑΛΙΑΚΜ. (2008)
- ✓ ΣΜΟΚΟΒΟ (2008)

Εικόνα 8.6: Υδροηλεκτρικά Έργα της Δ.Ε.Η. που είναι σε λειτουργία

8.3.2 Ελληνική Νομοθεσία Μ.Υ.Η.Ε

Ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο, συνήθως διαθέτει απλά μία ορεινή υδροληψία, ή και ένα μικρό ταμιευτήρα, για περιορισμένη ρύθμιση της ροής.

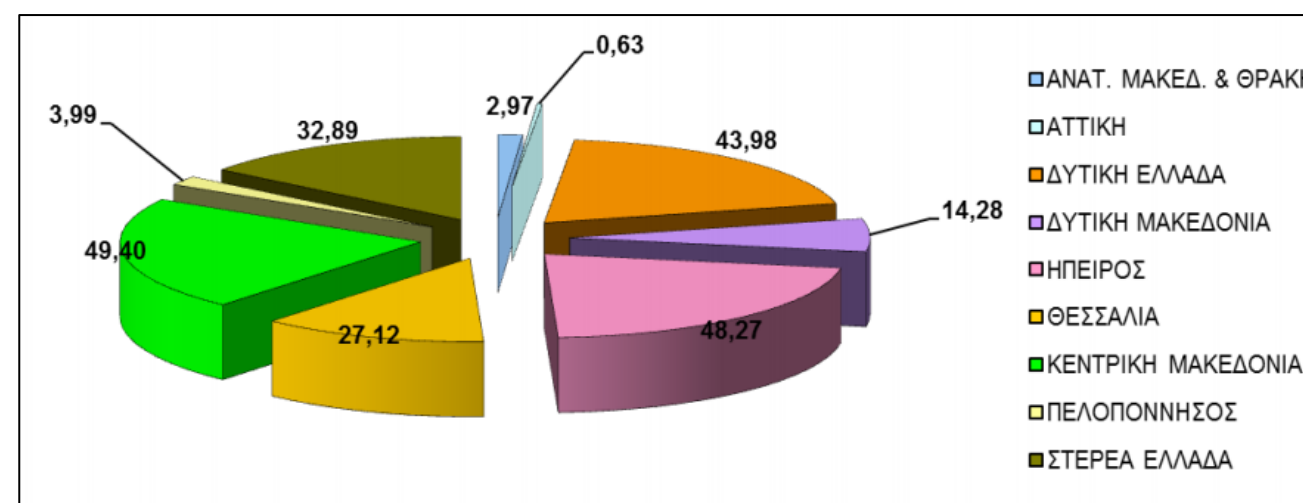
Κατατάσσεται ως προς την ονομαστική ισχύ σε:

- micro (< 0.1 MW)
- mini (0.1-1 MW)
- μικρό (1-10 MW)

Και ως προς το ύψος πτώσης σε:

- μικρού ύψους (< 20 m)
- μέσου ύψους (20 - 150 m)
- μεγάλου ύψους (> 150 m)

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ένα υδροηλεκτρικό έργο κατατάσσεται ως Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (Μ.Υ.Η.Ε.) δεν θα πρέπει η εγκατεστημένη ισχύς του να ξεπερνά τα 15 MW. Το όριο αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με την χώρα, αλλά τυπικά κυμαίνεται από 10-30 MW. Το όριο των 15 MW κρίνει τυπικά και το αν η ενέργεια που παράγεται είναι ανανεώσιμη ή όχι και συνεπώς το πόσο εύκολη θα είναι η αδειοδότηση του. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, η κατασκευή Υ.Η.Ε. μεγάλης κλίμακας έχει περιοριστεί σημαντικά έναντι των ΜΥΗΕ. Στην Εικόνα 8.7 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή και η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος (MW) των ΜΥΗΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα της Ελλάδας (ΛΑΓΗΕ, 2016).



Εικόνα 8.7: Γεωγραφική Κατανομή των Μ.Υ.Η.Ε στην Ελλάδα

8.4 Συνιστώσες Μ.Υ.Η.Ε.

8.4.1 Υδροληψία

Το πρώτο στη σειρά έργο είναι το τεχνικό υδροληψίας με το οποίο αποσπάται η ενεργειακά εκμεταλλεύσιμη παροχή από το φυσικό υδατόρευμα ή, γενικότερα από την πηγή ύδατος. Οι κύριοι τύποι υδροληψίας είναι η ορεινή, η πλευρική και η υδροληψία τύπου σίφωνα. Οι δύο πρώτοι τύποι εφαρμόζονται συνήθως όταν το νερό προέρχεται από φυσικό υδατόρευμα, ενώ ο τρίτος εφαρμόζεται σε περιπτώσεις αξιοποίησης νερού από υφιστάμενο ταμιευτήρα ή κανάλι.

8.4.2 Σύστημα Προσαγωγής

Το βασικό τεχνικό έργο του συστήματος προσαγωγής είναι ο αγωγός, μέσω του οποίου μεταφέρεται η παροχή στο στρόβιλο. Το υλικό κατασκευής και οι διαστάσεις του αγωγού επιλέγονται με τεchnοοικονομικά κριτήρια, επιδιώκεται δηλαδή η βέλτιστη οικονομικά λύση που πληροί συγκεκριμένα τεχνικά κριτήρια σχεδιασμού. Η όδευση του αγωγού εξαρτάται από τη θέση της δεξαμενής φόρτισης και του σταθμού παραγωγής, την υφιστάμενη τοπογραφία και τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Το μήκος του μπορεί να είναι από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα.

Η εγκατάσταση του αγωγού συνήθως είναι υπόγεια αλλά μπορεί να είναι και επιφανειακή. Ο αγωγός τοποθετείται συνήθως σε σκάμμα και επανεπιχώνεται, τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους, όσο και για προστασία από φυσικές ή ανθρωπογενής φθορές.

Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο χάλυβας, συνθετικά υλικά (PVC, GRP), οπλισμένο ή άοπλο σκυρόδεμα (σήραγγες) και, σπανιότερα, ξύλο. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού σχετίζεται με τις επιτόπου συνθήκες εγκατάστασης, τις αναμενόμενες καταπονήσεις και τα διατιθέμενα μέσα και κατασκευαστικές δυνατότητες.

8.4.3 Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας

Στον σταθμό παραγωγής ενέργειας καταλήγει το σύστημα προσαγωγής και εγκαθίσταται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, δηλαδή οι υδροστρόβιλοι, οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές και ο εξοπλισμός παρακολούθησης και ελέγχου του έργου. Ο τύπος και το πλήθος των στρόβιλων επιλέγεται ανάλογα με τα μεγέθη σχεδιασμού (παροχή, ύψος πτώσης) και το βέλτιστο σενάριο λειτουργίας του σταθμού. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι στρόβιλων είναι οι Francis, Kaplan, Pelton και Turgo. Από αυτούς οι δύο πρώτοι χρησιμοποιούνται κυρίως για μικρά και μεσαία ύψη πτώσης και μεγάλες παροχές, ενώ οι δύο τελευταίοι για μεγάλα ύψη πτώσης και έχουν μεγάλο εύρος παροχών λειτουργίας.

8.4.4 Υδροστρόβιλοι Κατάλληλοι για ΜΥΗΕ

Francis

Οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis καλύπτουν το ευρύτερο πεδίο στο διάγραμμα παροχής - υδραυλικής πτώσεως και για τον λόγο αυτό η εφαρμογή τους είναι συχνότερη. Κατασκευάζονται τυποποιημένοι από μεγάλο πλήθος κατασκευαστών καλύπτοντας περιοχή ισχύος από 100 kW μέχρι 10 ή 15 MW. Επίσης προσφέρονται σε διάφορες διαμορφώσεις και διατάξεις που αναφέρονται κυρίως στη διεύθυνση του άξονα περιστροφής και στο τμήμα εισόδου.

Αξονικής ροής τύπου Kaplan

Οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής προσφέρονται τυποποιημένοι σε μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων. Από τις συνηθέστερες διαμορφώσεις υδροστροβίλων αξονικής ροής μικρής ισχύος είναι ο σωληνωτός υδροστρόβιλος και ο βολβοειδής στις διάφορες παραλλαγές τους. Η κλασική διαμόρφωση του υδροστροβίλου Kaplan έχει σχεδόν εκτοπιστεί από τους άλλους τύπους αξονικών υδροστροβίλων για τις μικρές ισχύς και για τον λόγο αυτό κατασκευάζονται από λίγες μόνο εταιρίες. Το κυριότερο πεδίο εφαρμογής τους είναι η αντικατάσταση των υδροστροβίλων παλαιών μικρών ΥΗΕ που ήταν ήδη εξοπλισμένοι με μικρούς υδροστροβίλους Kaplan.

Pelton

Οι υδροστρόβιλοι τύπου Pelton είναι κατάλληλοι για μεγάλες τιμές της υδραυλικής πτώσης ακόμα και μεγαλύτερης των 250m και για σχετικά χαμηλές τιμές παροχών. Κατασκευάζονται τυποποιημένοι για ισχύ από 50 W μέχρι 10 ή και 15 MW.

Cross-flow

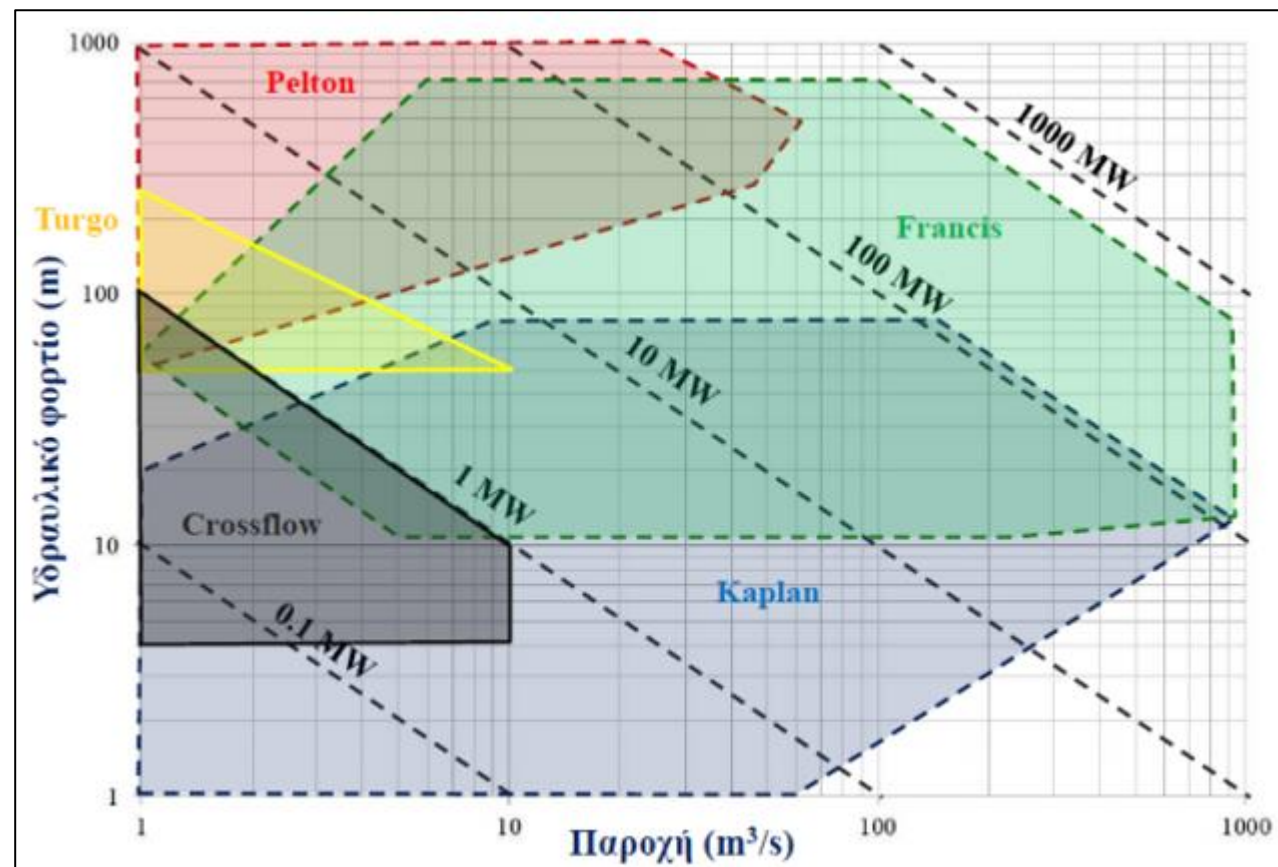
Στους υδροστρόβιλους τύπου Cross-flow το νερό διέρχεται δύο φορές από τον δρομέα, εξασφαλίζοντας υψηλότερο βαθμό απόδοσης, και επιτρέποντας τον αυτοκαθαρισμό του στρόβιλου από λάσπη, φύλλα, κτλ. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ο πρακτικά σταθερός βαθμός απόδοσης, που καθιστά τον στρόβιλο κατάλληλο για μικρά ΥΗΕ, τα οποία δεν έχουν δυνατότητα αποθήκευσης και άρα ρύθμισης της ροής.

Turgo

Η δέσμη του νερού προσπίπτει στον δρομέα υπό κλίση. Οικονομικότερη επιλογή σε σχέση με τον τύπο Pelton, καθώς χρησιμοποιεί ένα αντί για δύο πτερύγια, τα οποία

είναι στενότερα σε σχέση με τον στρόβιλο Pelton . Ενδείκνυται για ύψη πτώσης από 15 έως 300 m και μεγάλος εύρος παροχών. Ο βαθμός απόδοσης του είναι λίγο μικρότερος από του Pelton (περίπου 87%).

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το εύρος λειτουργίας των παραπάνω τύπων υδροστροβίλων σε συνάρτηση με το ύψος πτώσης (υδραυλικό φορτίο) και την παροχή.



Διάγραμμα 1: Εύρος λειτουργίας Υδροστροβίλων συναρτήσει του ύψους πτώσης και της παροχής

8.5 Μονάδα Παραγωγής Υδροηλεκτρικής Ενέργειας στην περιοχή Κορακάδα - Αθαμάνιο

Υφιστάμενη κατάσταση

Το υφιστάμενο εξωτερικό δίκτυο τροφοδοσίας των χωριών Κορακάδα και Αθαμάνιο λειτουργεί με χρήση δύο αντλιών ισχύος 75 hP ή 56 kW και παροχετεύουν 70 m³/h έκαστη, δηλαδή μέχρι 140 m³/h ή 0.039 m³/s και οι δύο. Το αντλιοστάσιο δεν λειτουργεί συνεχώς με την μέγιστη ισχύ του, αλλά προσαρμόζει την παροχή του στις

τροφοδοτικές ανάγκες των οικισμών. Το ετήσιο κόστος για την άντληση ανέρχεται περίπου στα 80.000 € και η κατανάλωση ενέργειας στις 800 MWh, θεωρώντας περίπου τιμή 100 €/MWh.

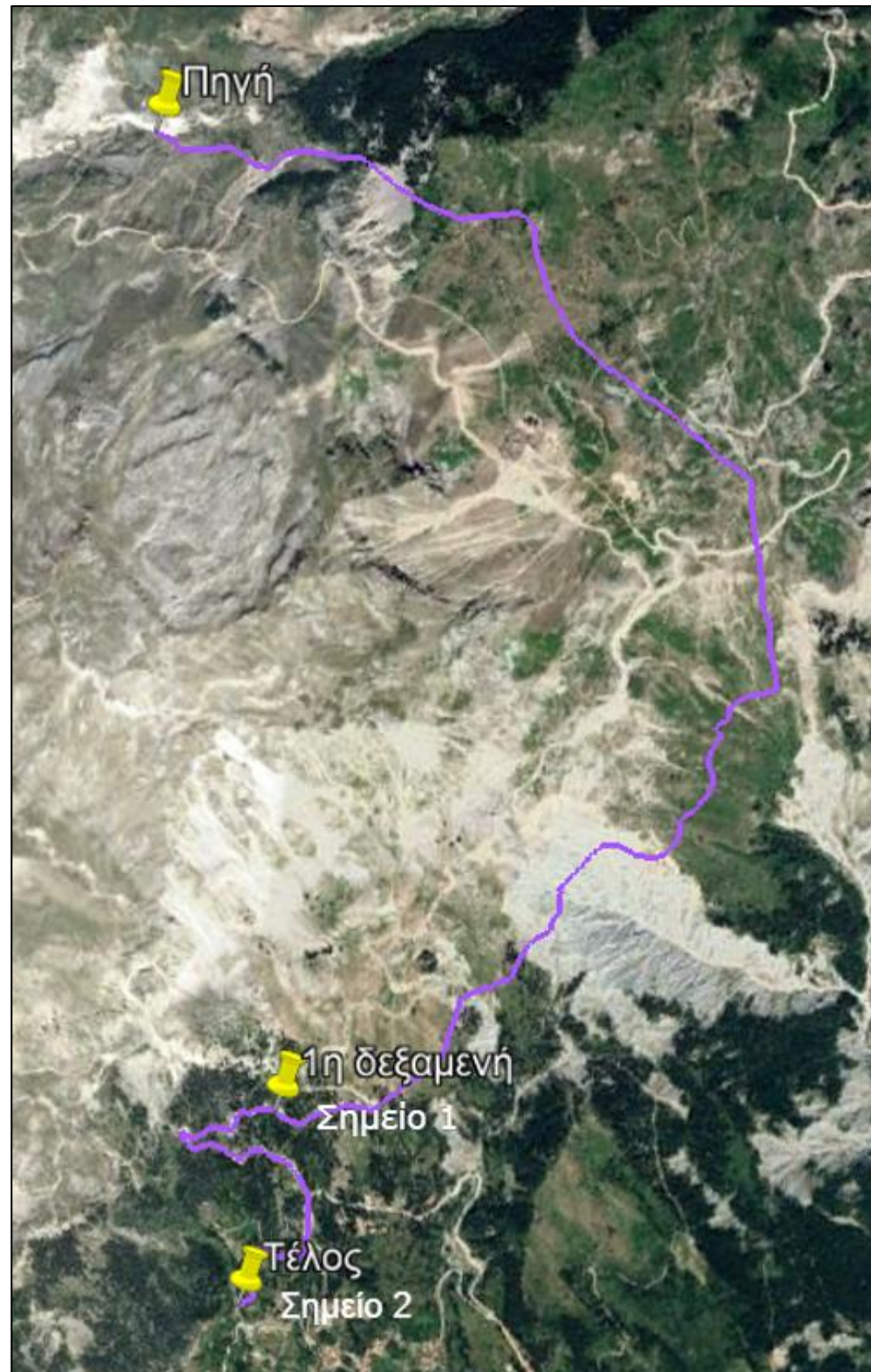
Νέα πρόταση – Μελέτη εγκατάστασης Μ.Υ.Η.Ε.

Η καινούργια όδευση του αγωγού του εξωτερικού δικτύου που θα τροφοδοτεί τα χωριά Κορακάδα και Αθαμάνιο, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6, προσφέρει σημαντική υψομετρική διαφορά η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στην συνέχεια αναλύονται δύο σενάρια εναλλακτικής θέσης τοποθέτησης του στροβίλου παραγωγής ενέργειας στα σημεία 1 και 2 όπως φαίνονται στον χάρτη της Εικόνας 8.8 . Αξίζει να αναφερθεί ότι στα πλαίσια της μελέτης δεν είναι εφικτό να γίνει ακριβέστερη προσομοίωση της λειτουργίας της Υ/Η μονάδας διότι δεν βρέθηκαν δεδομένα υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών των τροφοδοτούμενων από τον αγωγό οικισμών καθώς και υδρολογικά δεδομένα σχετικά με την πηγή (ή συστήματος πηγών) από την οποία τροφοδοτείται ο αγωγός.

Οι παραδοχές που γίνονται για τον υπολογισμό βασικών μεγεθών σχετικά με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και για τον υπολογισμό του κέρδους από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας είναι οι εξής:

- Μέση παροχή διέλευσης από τον στρόβιλο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ίση με την μέγιστη της υφιστάμενης κατάστασης, δηλαδή ίση με 0.039 m³/s, και άρα μέγιστος ετήσιος διερχόμενος όγκος ίσος με 1.23 hm³ (η παροχή μπορεί να είναι στην πράξη ακόμα μεγαλύτερη).
- Βαθμός απόδοσης στροβίλου 90%.
- Τιμή πώλησης ενέργειας ίση με 85€/MWh (πιθανώς στην πράξη να είναι υψηλότερη).
- Η μονάδα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί έργο του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων και άρα το 99% των εσόδων από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας το εισπράττει ο Δήμος ενώ το 1% το εισπράττουν οι καταναλωτές.



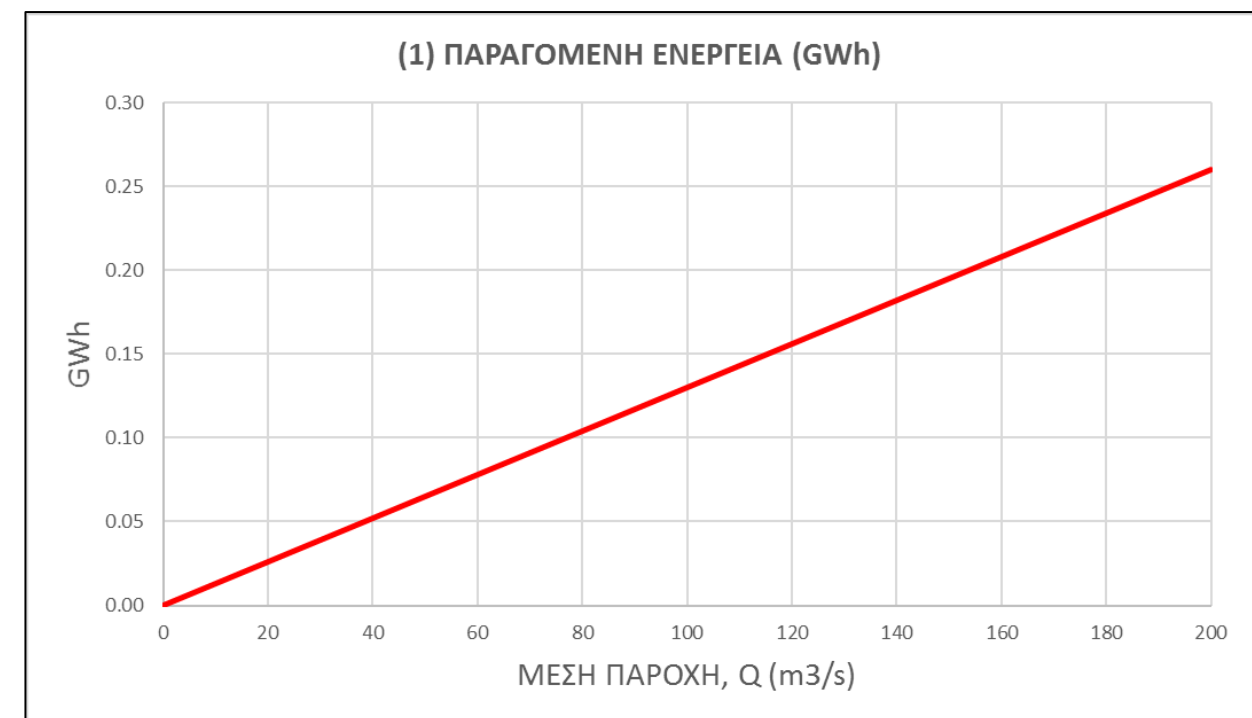
Εικόνα 8.8: Δύο Εναλλακτικά Σενάρια Τοποθέτησης του στροβίλου Παραγωγής Ενέργειας

1° Σενάριο: Τοποθέτηση στροβίλου στο σημείο της δεξαμενής, $H_n \sim 68.8 \text{ m}$.

Αρχικά εξετάζεται η τοποθέτηση του στροβίλου παραγωγής ενέργειας στο ύψος της ρυθμιστικής δεξαμενής (σημείο 1). Αυτή η διάταξη προσφέρει ύψος πτώσης περίπου 65 m.

- Ισχύς και παραγόμενη ενέργεια από Υ/Η μονάδα.

Η παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται σε 0.18 GWh ετησίως σύμφωνα με τις αναφερθείσες παραδοχές και διαιρεμένη με τον χρόνο ενός έτους δίνει την ισχύ του υδροηλεκτρικού που προκύπτει ίση με 21 kW. Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης παροχής.



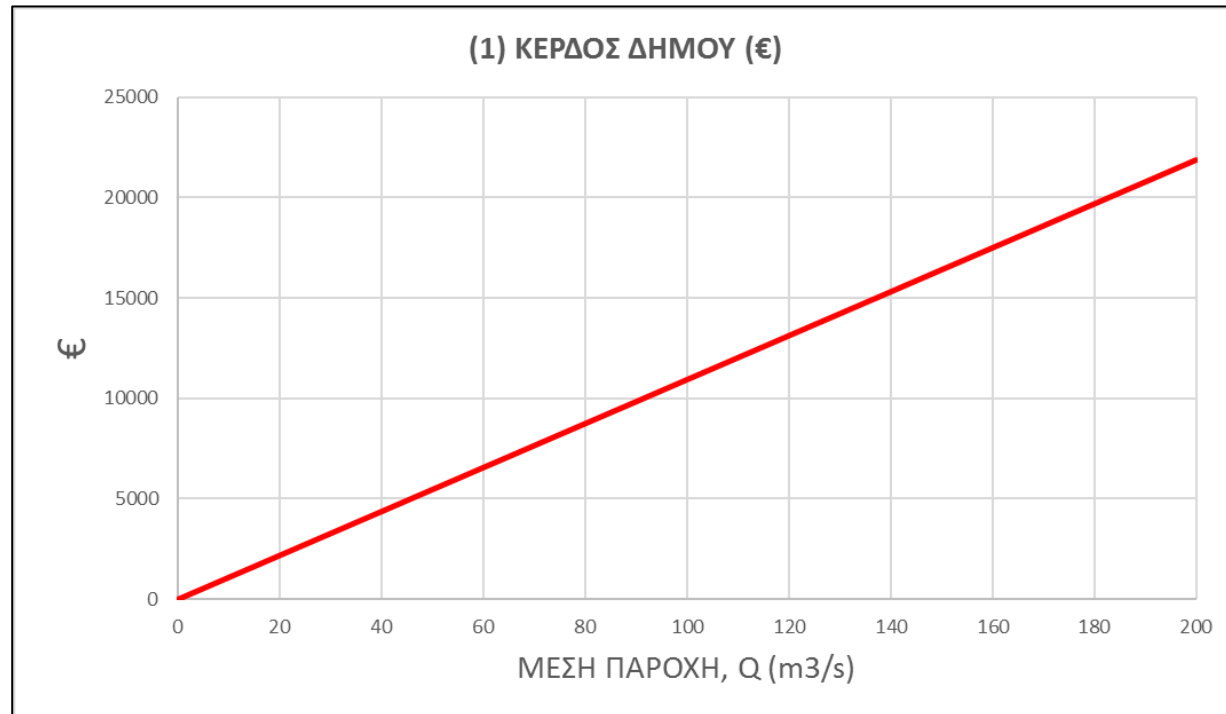
Διάγραμμα 2: Μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης παροχής

- Όφελος εγκατάστασης Υ/Η μονάδας.

Τελικά το κέρδος για τον δήμο για μέση παροχή 140 m³/h είναι περίπου 15000 € και για τους καταναλωτές 150 € ετησίως, ενώ αν θεωρηθεί τιμή πώλησης 100 €/MWh τα παραπάνω ποσά ανέρχονται σε 18000 € και 180 € αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι το κέρδος από το Υ/Η εξαρτάται από την διερχόμενη παροχή, η οποία όπως είναι αναμενόμενο θα μεταβάλλεται. Στο

Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται η μεταβολή του ετήσιου κέρδους του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων συναρτήσει της μέσης παροχής.



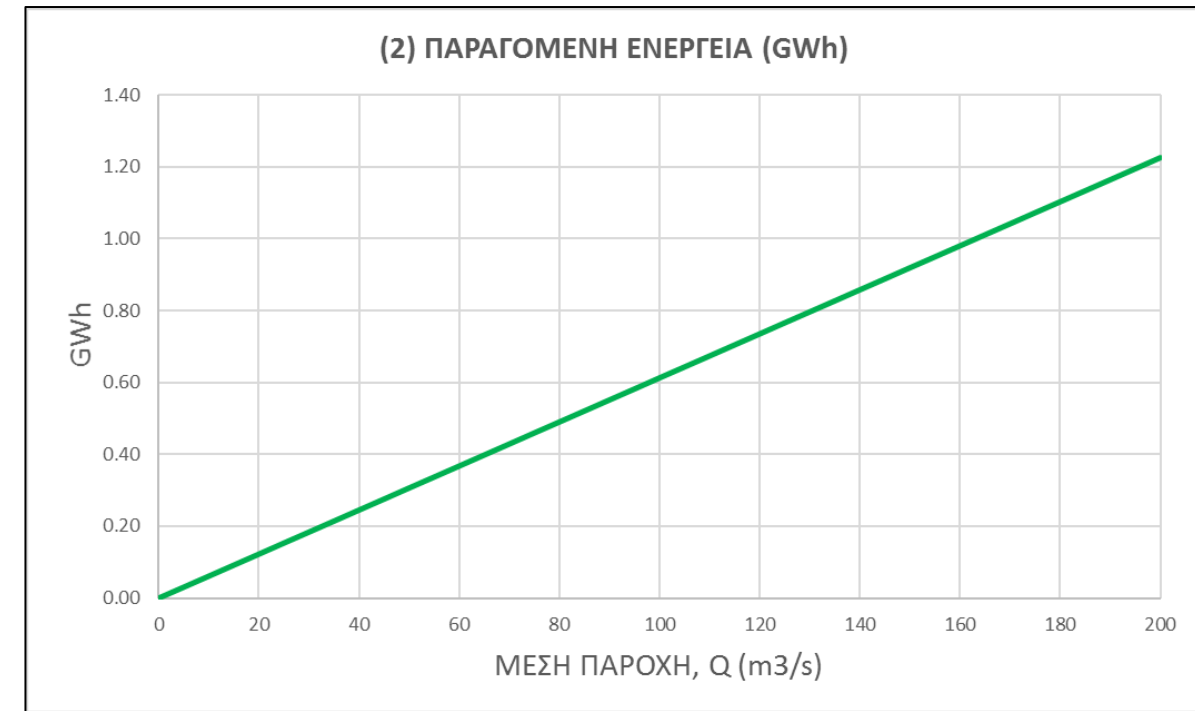
Διάγραμμα 3: Μεταβολή του ετήσιου κέρδους του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων συναρτήσει της μέσης παροχής

2^ο Σενάριο: Τοποθέτηση στροβίλου κατάντη της δεξαμενής, Hh ~ 285.5 m.

Ακολούθως εξετάζεται η τοποθέτηση του στροβίλου παραγωγής ενέργειας κατάντη της ρυθμιστικής δεξαμενής (σημείο 2).

- **Ισχύς και παραγόμενη ενέργεια από Υ/Η μονάδα.**

Η δυναμικά μέγιστη παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται σε 0.86 GWh ετησίως σύμφωνα με τις αναφερθείσες παραδοχές και διαιρεμένη με τον χρόνο ενός έτους δίνει την ισχύ του υδροηλεκτρικού που προκύπτει ίση με 98 kW. Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης παροχής.

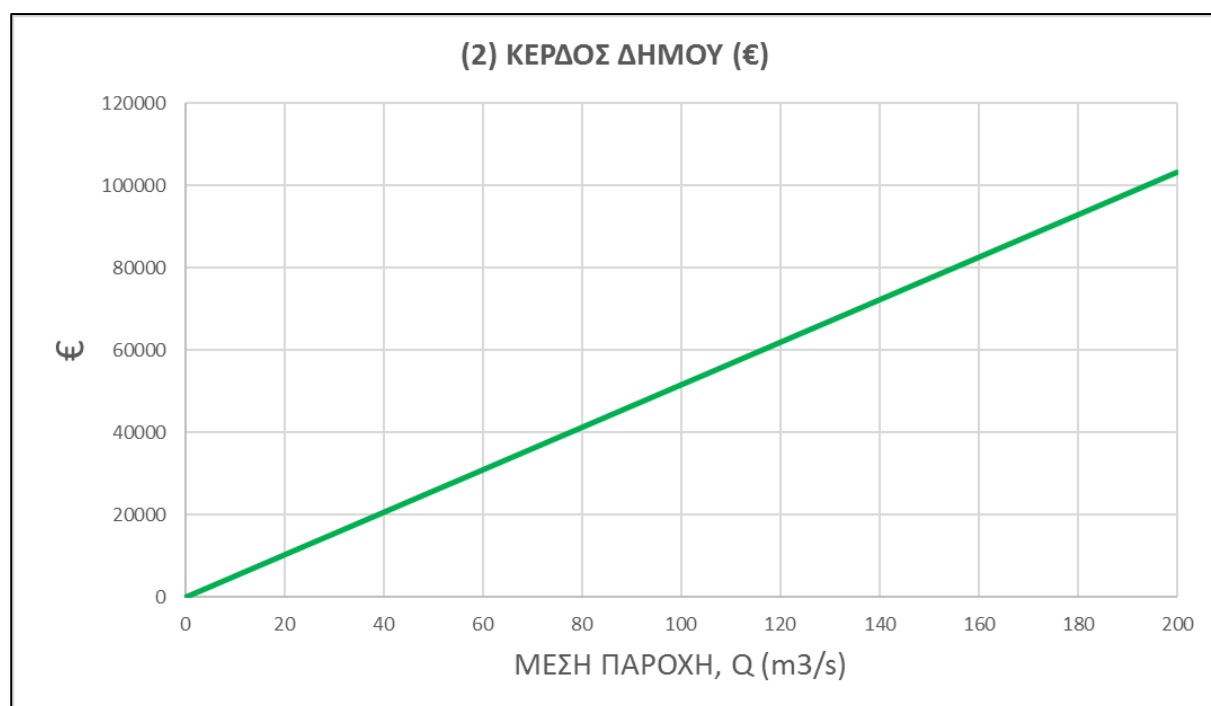


Διάγραμμα 4: Μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης παροχής

- **Όφελος εγκατάστασης Υ/Η μονάδας.**

Τελικά το κέρδος για τον δήμο για μέση παροχή 140 m³/h είναι περίπου 73.000 € και για τους καταναλωτές 730 € ετησίως, ενώ αν θεωρηθεί τιμή πώλησης 100 €/MWh τα παραπάνω ποσά ανέρχονται σε 85.000 € και 850€ αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι το κέρδος από το Υ/Η εξαρτάται από την διερχόμενη παροχή, η οποία όπως είναι αναμενόμενο θα μεταβάλλεται. Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται η μεταβολή του ετήσιου κέρδους του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων συναρτήσει της μέσης παροχής.



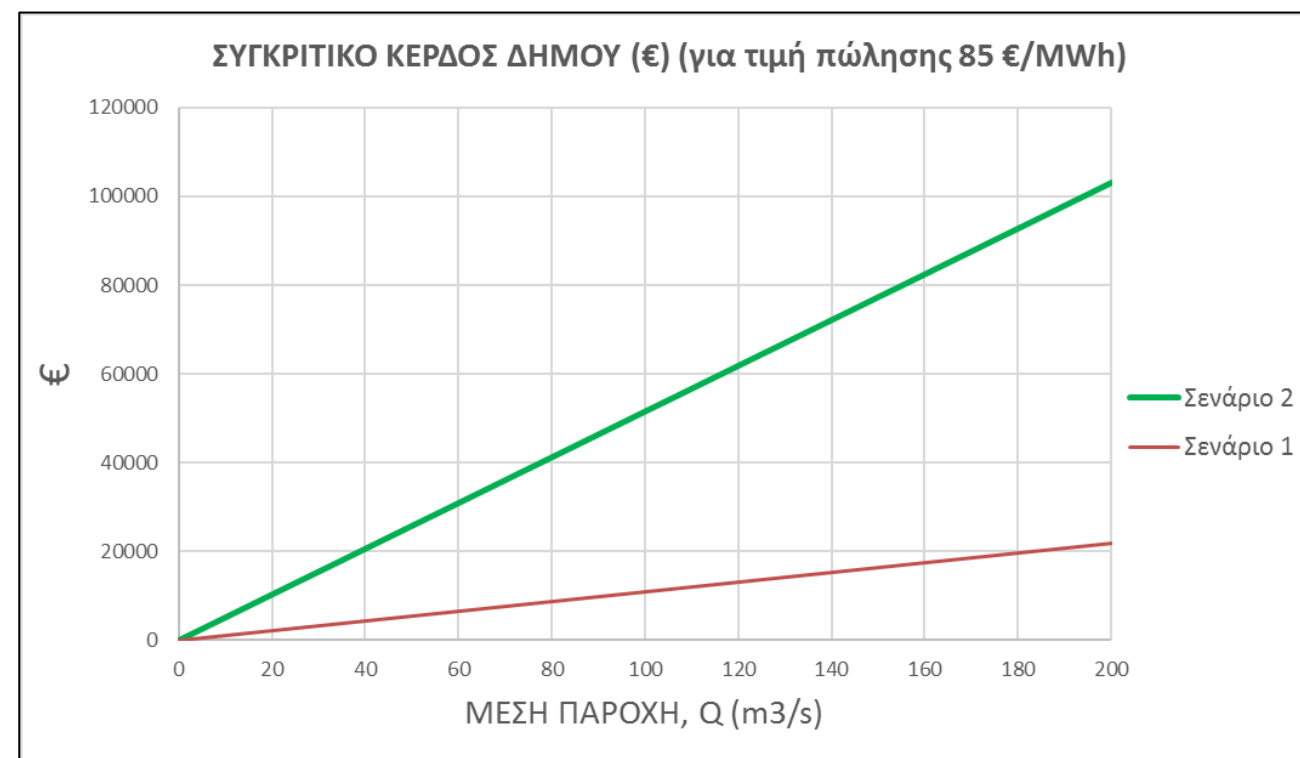
Διάγραμμα 5: Μεταβολή του ετήσιου κέρδους του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων συναρτήσει της μέσης παροχής

Τελική πρόταση – Επιλογή 2^{ου} σεναρίου.

Συγκρίνοντας το ετήσιο κόστος λειτουργίας του υπάρχοντος αντλιοστασίου (80.000 €) με το αναμενόμενο κέρδος από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, προκύπτει ότι η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μία οικονομικά συμφέρουσα πρόταση που αξίζει να υλοποιηθεί. Με δεδομένο ότι η νέα όδευση του αγωγού του εξωτερικού δικτύου που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 6 θα πραγματοποιηθεί, το μόνο επιπλέον σημαντικό έξοδο που θα απαιτηθεί για την παραγωγή ενέργειας είναι η αγορά, εγκατάσταση και συντήρηση του στροβίλου που θα χρησιμοποιηθεί, και άρα η οικονομική απόσβεση εκτιμάται ότι θα είναι άμεση και το αναμενόμενο κέρδος σημαντικό. Για αυτό τον λόγο προτείνεται η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά τις δύο εναλλακτικές προτάσεις, τελικά επιλέγεται η εφαρμογή της δεύτερης, δηλαδή τοποθέτηση του στροβίλου στο σημείο 2 του χάρτη στην Εικόνα 8.8. Με βάση τις παραπάνω αναλύσεις, το εκτιμώμενο κέρδος από εφαρμογή της δεύτερης εναλλακτικής προκύπτει πολλαπλάσιο σε σχέση με την εφαρμογή της

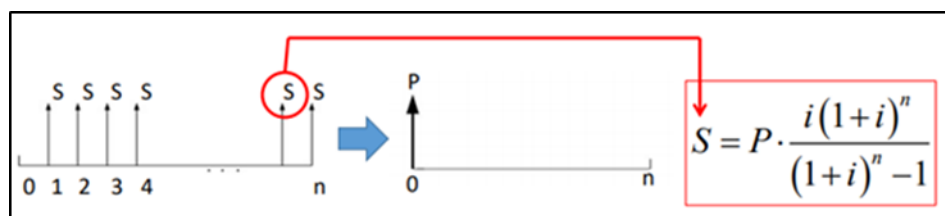
πρώτης (Διάγραμμα 6), ενώ το επιπλέον κόστος αφορά την επέκταση του αγωγού μέχρι το νέο σημείο τοποθέτησης του στροβίλου. Συγκεκριμένα αυτό το επιπλέον κόστος εκτιμάται περίπου σε 290000 €, όπως φαίνεται και στον πίνακα εκτίμησης κόστους (Πίνακας 27) για αγωγούς 20/32 η ονομαστικής πίεσης 20 και 32 atm.



Διάγραμμα 6: Εκτιμώμενο κέρδος από εφαρμογή της δεύτερης εναλλακτικής προκύπτει πολλαπλάσιο σε σχέση με την εφαρμογή της πρώτης

8.6 Οικονομική Ανάλυση – Χρηματοροές

Για την αντικειμενική εκτίμηση των χρηματοροών συγκριτικά της υφιστάμενης κατάστασης και των εναλλακτικών σεναρίων, γίνεται αναγωγή των χρηματικών ποσών (εσόδων – εξόδων) σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Πίνακας 28) χρησιμοποιώντας τον τύπο της Εικόνας 8.9 (λύνοντας ως προς P).



Εικόνα 8.9: Τύπος Χρηματοροών

Όπου:

- S, η χρηματοροές.
- P, η παρούσα αξία.
- i, επιτόκιο αναγωγής.
- n, τα έτη αναγωγής.

Ως επιτόκιο αναγωγής επιλέγεται $i=0.5\%$, τυπική τιμή για χώρες της Ε.Ε. και θεωρείται $n=40$ έτη, όσα και η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής του έργου.

Στον Πίνακα 28 οι αρνητικές τιμές δηλώνουν έσοδα ενώ οι θετικές έξοδα και όλα τα χρηματικά ποσά (και στους δύο πίνακες) έχουν μονάδα μέτρησης το €.

	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗ	ΕΠΙΤΟΚΙΟ ΑΝΑΓΩΓΗΣ	ΧΡΗΜΑΤΟΡΡΟΗΣ	ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ
Υφιστάμενο	40	0.5%	80000	2893778
Στρόβιλος στη δεξαμενή	40	0.5%	-15315	-553978
Στρόβιλος στο τέλος	40	0.5%	-72253	-2613552

Πίνακας 28: Αναγωγή των χρηματικών ποσών(εσόδων – εξόδων) σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή

Στον Πίνακα 29 παρουσιάζεται συγκριτικά το κέρδος των δύο εναλλακτικών σεναρίων, με την προτεινόμενη λύση της τοποθέτησης του στροβίλου ανάντη της δεξαμενής να είναι πολύ πιο κερδοφόρα.

	Υφιστάμενο	Στρόβιλος στη δεξαμενή	Στρόβιλος στο τέλος
Κόστος	2893778	505054	-1366021
Κέρδος	-	2388725	4259799

Πίνακας 29: Κέρδος των 2 Εναλλακτικών Σεναρίων

Τύπος στροβίλου

Για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας προτείνεται η εγκατάσταση στροβίλου τύπου Pelton. Οι υδροστρόβιλοι Pelton, όπως αναφέρθηκε, είναι κατάλληλοι για μεγάλες τιμές της υδραυλικής πτώσης ακόμα και μεγαλύτερης των 250m και κατασκευάζονται τυποποιημένοι για ισχύ από 50 W μέχρι 10 ή και 15 MW. Επίσης ανταποκρίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές παροχών, αν και η παροχή των 0.039 m³/s που αναφέρθηκε παραπάνω είναι ιδιαίτερα χαμηλή και πρέπει να ληφθεί υπόψη για την επιλογή του ακριβούς μοντέλου υδροστροβίλου.

Κατάταξη Υ/Η έργου

Το υπό μελέτη υδροηλεκτρικό έργο μπορεί να καταταχθεί ως εξής σύμφωνα με τις κατηγοριοποιήσεις που αναλύθηκαν παραπάνω:

- Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία κατατάσσεται ως Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (Μ.Υ.Η.Ε.) αφού η εγκατεστημένη ισχύς του δεν ξεπερνά τα 15 MW.
- Ως προς την ονομαστική ισχύ κατατάσσεται ως micro αφού η εγκατεστημένη ισχύς του δεν ξεπερνά τα 0.1 MW ή 100 kW.
- Ως προς το ύψος πτώσης κατατάσσεται σε μεγάλο ύψους αφού το ύψος πτώσης ξεπερνά τα 150 m.

9. Συντήρηση Δεξαμενών

9.1 Χαρακτηριστικά - Προβλήματα Δεξαμενών

Τα έργα για την υδροδότηση των οικισμών του δήμου Τζουμέρκων πραγματοποιήθηκαν στις αρχές του 1960. Από τότε έχουν περάσει πάνω από 50 χρόνια. Τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν δεν είναι μόνο στο δίκτυο διανομής. Σημαντική φθορά έχουν δεχτεί και οι μηχανισμοί προσωρινής αποθήκευσης του νερού.

Υλικό κατασκευής

Το σκυρόδεμα είναι ένα εξαιρετικό δομικό υλικό. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί σκυρόδεμα για την κατασκευή όλων των τύπων κατασκευών για πολλούς αιώνες. Έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ ανθεκτικό και πολύ ισχυρό σε συμπίεση. Από μόνο του όμως δυστυχώς δεν έχει καλή συμπεριφορά στον εφελκυσμό. Για αυτό τον λόγο κατά τον σχεδιασμό οι τότε Μηχανικοί σχεδίαζαν τον φορέα τους ώστε να λαμβάνει μόνο θλιπτικά φορτία. Αξιοσημείωτο παράδειγμα ο τρούλος του Πάνθεον (Ρώμη 125 μ.Χ.) διαμέτρου 43.3 μέτρων. Με την εφεύρεση του οπλισμένου σκυροδέματος στα μέσα του 1800, το σκυρόδεμα βρέθηκε επίσης να παρέχει βαθμό αντοχής σε εφελκυσμό. Πλέον οι μηχανικοί δεν είναι τόσο περιορισμένοι κατά τον σχεδιασμό. Από τότε οι μηχανικές ιδιότητες του οπλισμένου σκυροδέματος έχουν τροποποιηθεί και συντελέσει στην κατασκευή δεξαμενών νερού και λυμάτων σε όλο τον κόσμο.

Δυστυχώς, με την εισαγωγή του οπλισμού χάλυβα στο σκυρόδεμα, δημιουργήθηκε ένα νέο πρόβλημα που επηρέασε την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Όταν ο ενσωματωμένος ενισχυμένος χάλυβας, διαβρώσει, μπορεί να προκαλέσει ρωγμές (cracking) και σπασμών/αφαίρεσης (spalling) σκυροδέματος. Αυτές οι ρωγμές και τα θραύσματα σκυροδέματος όχι μόνο μειώνουν τη δομική ακεραιότητα του, αλλά επιτρέπουν επίσης στα επιβλαβή στοιχεία να εισέλθουν ελεύθερα στο σκυρόδεμα και να επιταχυνθεί ο ρυθμός φθοράς. Ακόμα για τους οικισμούς που βρίσκονται σε σχετικά υψηλά υψόμετρα οι δεξαμενές δέχονται πολλούς κύκλους ψύξης-απόψυξης μειώνοντας και άλλο την ανθεκτικότητά του.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μια τυπική αστοχία μετά από αρκετούς κύκλους ψύξης-απόψυξης (Εικόνα 9.1)



Εικόνα 9.1: Τυπική Αστοχία μετά από αρκετούς κύκλους ψύξης – απόψυξης

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ

Το σκυρόδεμα επιδεινώνεται με την πάροδο του χρόνου. Ο ρυθμός φθοράς του σκυροδέματος εξαρτάται από δύο παράγοντες:

- την ποιότητα του σκυροδέματος
- περιβάλλον στο οποίο υποβάλλεται το σκυρόδεμα.

Η ποιότητα του σκυροδέματος αναφέρεται στις ιδιότητες που ενσωματώνονται στον αρχικό σχεδιασμό μίγματος σκυροδέματος, όπως ο λόγος νερού/τσιμέντου, ο τύπος τσιμέντου, το μέγεθος και η σκληρότητα του αδρανούς και ο παγιδευμένος αέρας. Η ποιότητα εξαρτάται επίσης από τις κατασκευαστικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του σκυροδέματος, όπως η σωστή σταθεροποίηση, κάλυψη και σκλήρυνση. Εάν κατά τον σχεδιασμό δόθηκε προσοχή σε αυτές τις λεπτομέρειες, τότε το σκυρόδεμά θα είναι πυκνό, με χαμηλή διαπερατότητα, και θα είναι ανθεκτικό σε κύκλους ψύξης-απόψυξης, ενώ ο αριθμός και η ένταση των ρωγμών θα είναι σχετικά χαμηλά.

Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό φθοράς είναι το περιβάλλον. Οι δεξαμενές νερού (εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και λυμάτων) αποτελούν ένα εντατικό/απαιτητικό περιβάλλον για το σκυρόδεμα. Οι δεξαμενές σκυροδέματος μπορεί να υποβληθούν σε κύκλους υγρασίας - ξηρασίας, ψύξης - απόψυξης, σε χημική επίθεση καθώς επίσης και σε δυνάμεις τριβής. Υπό αυτές τις απαιτητικές συνθήκες ακόμα και σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας υποβάλλεται σε υποβάθμιση των μηχανικών του ιδιοτήτων (αλλά με χαμηλότερο ρυθμό από το σκυρόδεμα χαμηλότερης ποιότητας). Για τον παραπάνω λόγο, είναι συνετό να προστατεύσουμε το σκυρόδεμα, ανεξαρτήτως ποιότητας, προς αύξηση της ανθεκτικότητας του.

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για την διαδικασία αποκατάστασης θα πρέπει πρώτα να περιοριστεί ο λόγος φθοράς του σκυροδέματος. Το πρώτο βήμα θα είναι να γίνει εκτίμηση της αντοχής του χωρίς να καταστρέψουμε την δεξαμενή (εφαρμογή μη καταστροφικών μεθόδων). Οι πιο συνηθισμένες πρακτικές είναι:

- Μέθοδος κρουσιμέτρου
- Μέθοδος εξόλκευσης ήλων
- Μέτρηση βάθους ρωγμής με υπερήχους
- Μέθοδος μέτρησης ενανθράκωσης και Ph

Από αυτές τις μεθόδους μπορεί να υπολογιστεί η αντοχή σε θλίψη, τον βαθμό ενανθράκωσης αλλά και το μέτρο ελαστικότητας.

Στην Εικόνα 9.2 πραγματοποιείται η μέθοδος κρουσιμέτρου με την οποία μπορεί να υπολογιστεί η αντοχή σε θλίψη.



Εικόνα 9.2: Δοκιμή κρουσιμέτρου

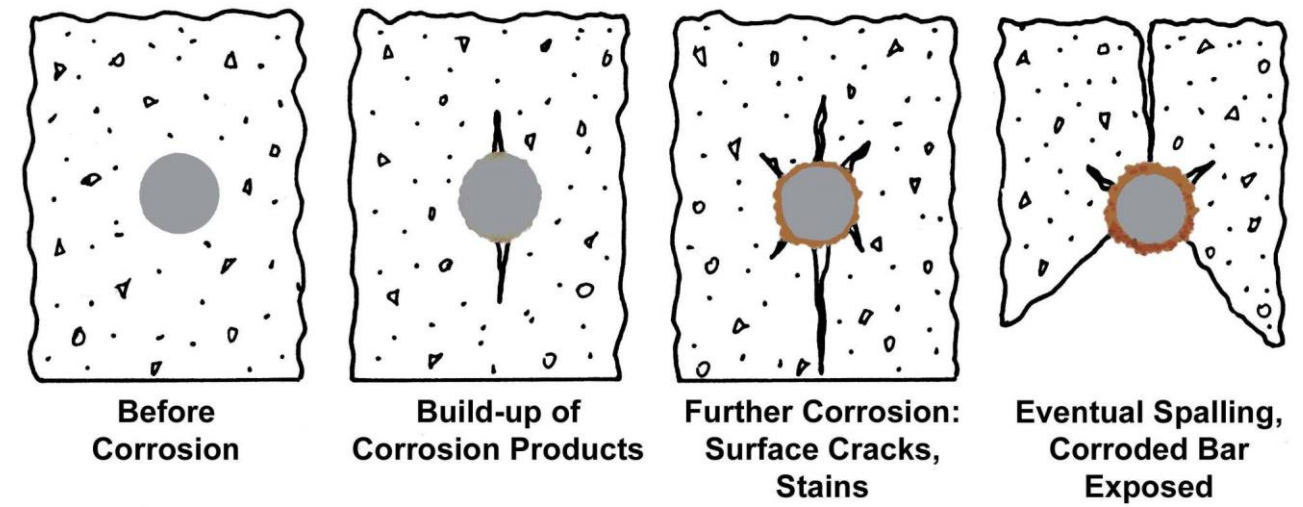
Έχει παρατηρηθεί ότι σε αρκετές δεξαμενές του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων εμφανίζουν προβλήματα ως προς τα δομικά τους υλικά. Συγκεκριμένα, είναι πιθανόν σε αυτές τις δεξαμενές να έχει γίνει ενανθράκωση του σκυροδέματος με αποτέλεσμα να έχει μειωθεί το pH του. Με την μείωση του pH οι συνθήκες είναι ιδανικές για τον σχηματισμό οξειδίων κατά το μήκος του σπλισμού. Η πυκνότητα του οξειδωμένου χάλυβα είναι πολύ πιο μικρή με αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα διόγκωσης. Αυτό προκαλεί εφελκυσμό στο σκυρόδεμα που τον επικαλύπτει, προκαλώντας αναπόφευκτα την ρηγμάτωση του όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.3 .



Εικόνα 9.3: Ρηγμάτωση σκυροδέματος

Αυτή η διαδικασία μπορεί να επιταχυνθεί με την είσοδο αλάτων (ειδικά αυτά που περιέχουν χλώριο) τα οποία μπορούν να καταστρέψουν το παθητικό στρώμα. Όσο χαμηλότερη είναι η ποιότητα του σκυροδέματος, τόσο πιο διαπερατό το σκυρόδεμα, θα επιτρέπει συνεπώς στο νερό, το οξυγόνο και τα άλατα να διεισδύουν πιο εύκολα. Ακόμα από την στιγμή που ρηγματωθεί το σκυρόδεμα δημιουργείται ένα μηχανισμός ανατροφοδότησης (Positive feedback Loop), αφού από τις πλέον ρωγμές εισέρχεται πιο πολύ νερό.

Στην Εικόνα 9.4 φαίνονται τα στάδια διάβρωσης και ρηγμάτωσης του οπλισμού και του σκυροδέματος αντίστοιχα.



Εικόνα 9.4: Στάδια διάβρωσης και ρηγμάτωσης του οπλισμού και του σκυροδέματος

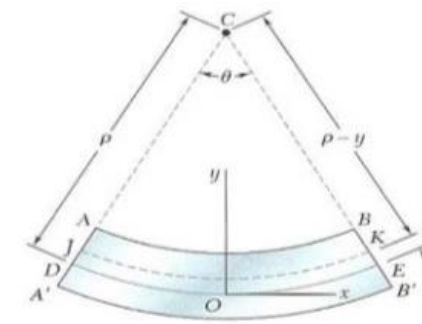
Άλλες κοινές αιτίες της φθοράς του σκυροδέματος των δεξαμενών νερού είναι η τριβή και ο κύκλος ψύξης - απόψυξης. Η φθορά από την τριβή προκύπτει από τις λειαντικές επιδράσεις του πηλού, της άμμου, του χαλικιού και άλλων συντριμμίων που έρχονται σε επαφή με το σκυρόδεμα και προκαλούν τη διάβρωση του σκυροδέματος με μηχανικά μέσα. Μία μορφή εμφανίζεται με την παρουσία οξέων και νερού με χαμηλό pH (λιγότερο από 6,5). Το νερό που είναι όξινο διαλύει την τσιμεντοειδή μήτρα που δεσμεύει το αδρανές στο σκυρόδεμα, προκαλώντας την εξασθένηση του σκυροδέματος.

Τέλος, μια άλλη μορφή χημικής προσβολής συμβαίνει όταν τα θειικά άλατα στο νερό (ή στα λύματα) αντιδρούν με το αργλικό τριασβέστιο (tricalcium aluminate) του τσιμέντου προς σχηματισμό μιας διογκούμενης ένωσης ετρίνιγκ (ettringite). Αυτή η επέκταση/διόγκωση προκαλεί εσωτερικές τάσεις που οδηγούν το σκυρόδεμα σε ρηγμάτωση (crack or crumble). Επιπλέον, ο υγρός - στεγνός κύκλος που πραγματοποιείται μέσα σε μια δεξαμενή μεταξύ των υψηλών και χαμηλών σημείων νερού επιτείνει την επίδραση της θειικής επίθεσης στο σκυρόδεμα. Ο κύκλος ψύξης - απόψυξης σε αυτήν τη ζώνη προκαλεί επίσης εκτεταμένες δυνάμεις μέσα στο σκυρόδεμα που οδηγούν σε ρωγμές και αφαίρεση/σπάσιμο.

Είναι προφανές ότι οι ρωγμές αυτές έχουν και επίδραση στην λειτουργικότητα του συστήματος, αφού με την ρηγμάτωση το νερό βρίσκει διαφυγές εκτός της δεξαμενής.



Εικόνα 9.5: Δεξαμενή με διαφυγές



Εικόνα 9.6: Συμβιβαστό των παραμορφώσεων

Για τον περιορισμό των μελλοντικών μετακινήσεων θα πρέπει με τις παραπάνω μεθόδους να γίνει εκτίμηση των φορτίων αστοχίας. Αν ικανοποιούνται τα κριτήρια οριακής κατάστασης αλλά και των παραμορφώσεων μπορεί να γίνει επέμβαση για την επισκευή τους.

Προστασία από διάβρωση

Αρχικά το πρώτο βήμα είναι να γίνει αφαίρεση του απανθρακωμένου και ρηγματωμένου σκυροδέματος γύρω από τα επίμαχα σημεία του και να εμφανιστεί ο διαβρωμένος οπλισμός.

9.2 Τρόποι Αντιμετώπισης

Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι ο περιορισμός των μετακινήσεων της δεξαμενής. Αν δεν περιοριστούν οι μετακινήσεις του φορέα και πραγματοποιηθεί μόνο στεγανοποίηση, μπορεί προσωρινά να επιλύσουμε το πρόβλημα αλλά σε βάθος χρόνου οι παραμορφώσεις που θα δημιουργηθούν εκ νέου θα τραυματίσουν την εσωτερική στεγανοποίηση σύμφωνα με το συμβιβαστό των παραμορφώσεων. Σύμφωνα με την Εικόνα 9.6 προκύπτει ότι για τα φορτία της δεξαμενής θα ασκήσουν μια παραμόρφωση στο επίπεδο AB στο οποίο θα είναι τοποθετημένη η μόνωση. Η μόνωση δεν πρέπει παραμορφωθεί καθόλου αλλιώς θα χάσει την ιδιότητα της να συγκρατεί το νερό μέσα στην δεξαμενή.



Εικόνα 9.7: Απομάκρυνση του σαθρού σκυροδέματος γύρω από τον οπλισμό

Το αμέσως επόμενο βήμα είναι η αφαίρεση της σκουριάς, όσο είναι δυνατόν, στα σημεία όπου ο οπλισμός έχει εμφανιστεί. Αυτό γίνεται με την βοήθεια μιας σιδερόβουρτσας. Η σκουριά είναι σχετικά πορώδης με αποτέλεσμα να συγκρατεί νερό, κάνοντας τον πιο εύκολο να ξανασκουριάσει. Για την μείωση της ταχύτητας οξείδωσης του οπλισμού γίνεται επάλειψη με αναστολέα διάβρωσης.



Εικόνα 9.8: Επάλειψη με αναστολέα διάβρωσης

Για τις κατασκευές υψηλού δείκτη σημαντικότητας οι οποίες είναι πολύ εκτεθειμένες σε στοιχεία διάβρωσης προτείνεται να χρησιμοποιηθούν “θυσιαζόμενα ανόδια”. Τα ανόδια αυτά περιέχουν μέταλλα τα οποία οξειδώνονται πιο εύκολα από τον χάλυβα (συνήθως περιέχουν ψευδάργυρο) με αποτέλεσμα να απορροφούν τα ηλεκτρόνια και να μην οξειδώνεται ο χάλυβας.



Εικόνα 9.9: Θυσιαζόμενα ανόδια τύπου βαρελιού

Το τελευταίο βήμα είναι να γίνει η επικάλυψη των οπλισμών. Η σωστή επικάλυψη θα πρέπει να παρέχει προστασία από διάβρωση (υψηλό pH) αλλά και επαρκή αντοχή για να προσφέρει στον οπλισμό επαρκή πρόσφυση. Οι προδιαγραφές αναγράφουν ότι το κονίαμα κατά την “ωρίμανση” θα πρέπει να είναι συστελλόμενο, ώστε να γίνεται σωστά η “συγκόλληση” μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος.

Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι παρόμοιο με την Εικόνα 9.10 .



Εικόνα 9.10: Τελικό αποτέλεσμα μετά την επικάλυψη του σπλισμού

Με την επίλυση του προβλήματος των παραμορφώσεων αλλά και των ρωγμών του σκυροδέματος, το τελευταίο στάδιο της συντήρησης είναι η επένδυση της εσωτερικής επιφάνειας της δεξαμενής από υδρομονωτικό στρώμα για την πλήρη στεγανοποίηση.

Μετά την αφαίρεση της παλιάς στρώσης και την εντατική απομάκρυνση των παλιών αδρανών (άμμος και σκόνη) η επιφάνεια είναι έτοιμη για την εφαρμογή του μονωτικού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι δεξαμενές που αποθηκεύουν πόσιμο νερό πρέπει να τηρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές όσο αναφορά την ανθρώπινη τοξικότητα.

Η στεγανοποίηση με μεμβράνες Sikarlan(Εικόνα 9.11) βάσεως ΤΡΟ (πολυολεφίνης) αποτελεί ανθεκτική και τεχνικά άρτια λύση για νέες κατασκευές και έργα ανακαινίσεων δεξαμενών ποσίου νερού. Οι μεμβράνες Sikarlan που είναι σχεδιασμένες για επαφή με πόσιμο νερό, συμμορφώνονται με τα αυστηρότερα πρότυπα υγιεινής.



Εικόνα 9.11: Μεμβράνες Sikarlan

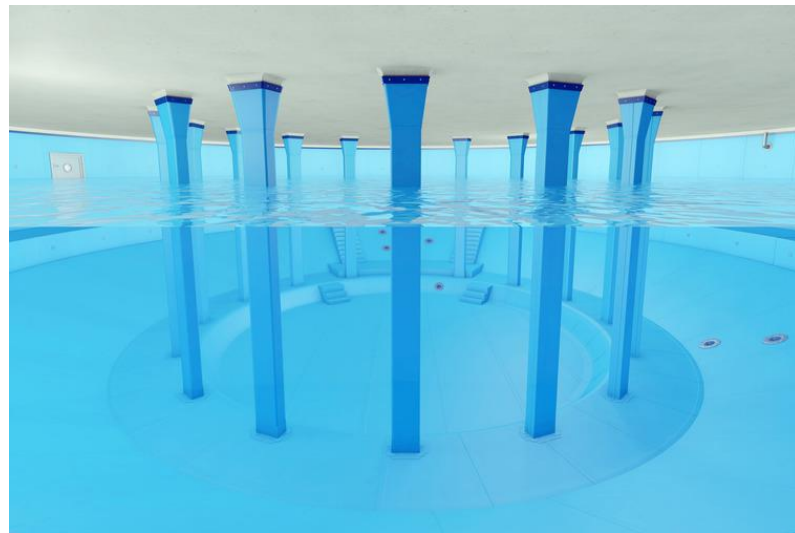
Το υπόστρωμα πρέπει να είναι καθαρό και στεγνό, απαλλαγμένο από λάδια, λιπαρές ουσίες, σκόνη, χαλαρά στοιχεία, βαφές, τσιμεντοεπιδερμίδα και άλλα υλικά μειωμένης πρόσφυσης. Το υπόστρωμα πρέπει να απολυμανθεί, πριν την τοποθέτηση μεμβράνης με ψεκασμό απολυμαντικού Sikagard SB, ή παρόμοιου. Αν δεν προδιαγράφεται κάτι διαφορετικό, ένα γεωύφασμα (μη υφαντό) με ελάχιστο βάρος 300g/m² πρέπει να τοποθετηθεί κάτω από τη μεμβράνη σαν στρώση προστασίας.

Η μεμβράνη τοποθετείται με μέθοδο χαλαρής διάστρωσης και σταθεροποιείται μηχανικά στις αλληλοεπικαλύψεις ή ξεχωριστά σε άλλα σημεία.

Οι διαδοχικές μεμβράνες θα συγκολληθούν μεταξύ τους. Πριν τη θερμοσυγκόλληση πρέπει να χρησιμοποιηθεί Sarnafil T Clean για τον καθαρισμό λερωμένων επιφανειών μεμβράνης. Μετά τον καθαρισμό των ραφών και πριν τη θερμοσυγκόλληση, το Sarnafil T Prep πρέπει να χρησιμοποιηθεί για προετοιμασία ραφών και τον καθαρισμό ελαφρώς λερωμένων επιφανειών της μεμβράνης. Όλες οι

αλληλοεπικαλύψεις των μεμβρανών πρέπει να θερμοσυγκολληθούν με πιστόλι χειρός θερμού αέρα. Παράμετροι συγκόλλησης όπως η ταχύτητα και η θερμοκρασία πρέπει να αξιολογούνται, να προσαρμόζονται και να καθορίζονται στο έργο, κατόπιν δοκιμής, πριν την εκτέλεση των εργασιών θερμοσυγκόλλησης.

Η θερμοσυγκόλληση γίνεται με πιστόλι χειρός θερμού αέρα και ρολά πίεσης ή με αυτόματα μηχανήματα θερμού αέρα, με ρυθμιζόμενη και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη θερμοκρασία συγκόλλησης τουλάχιστον στους 600 °C. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι παρόμοιο με την Εικόνα 9.12 .



Εικόνα 9.12: Αποτέλεσμα μετά την θερμοσυγκόλληση

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Α. Ευστρατιάδης, & Δ. Κουτσογιάννης, (2005), Τυπικά Υδραυλικά Έργα (Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος), Αθήνα: ΕΜΠ.
- Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, Σημειώσεις μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων", 97 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.
- Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Αποχετεύσεις, 72 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2018.
- Γ. Βαφειάδης, (2008), Μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης οικισμών. Δίκτυο μελέτης οικισμού Μανδρακίου Νισύρου, ΕΜΠ
- Γ. Τσακίρης, (2010), Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος Ι, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Γ. Τσακίρης, & Δ. Αλεξάκης, (2010). Ποιότητα Νερού για Ανθρώπινη Κατανάλωση, Στο Τσακίρης, Γ., Υδραυλικά Έργα –Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Γ. Τσακίρης, & Μ. Σπηλιώτης, (2010). Συστήματα Κλειστών Αγωγών υπό Πίεση, Στο Τσακίρης Γ., Υδραυλικά Έργα –Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Γ. Τσακίρης, (2006), Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος ΙΙ, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Γ. Τσακίρης, (2008), Μάθημα Υδραυλικά Έργα Υδρεύσεις Οικισμών, Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος, Αθήνα.
- Δ. Κουτσογιάννης, (2006), Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων-Μέρος1, Αθήνα: ΕΜΠ.
- Ε. Καρκατσούλη, (2008), Χρήση μοντέλων επίλυσης κυκλοφοριακών δικτύων ύδρευσης οικισμών, ΕΜΠ

- Ι. Ναλμπάντης (2007), Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Αθήνα: ΕΜΠ.
- Ι. Παπαδάκης, (1977), Ύδρευση πόλεων, Αθήνα: ΕΜΠ.
- Ν. Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, Σημειώσεις μαθήματος «Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα», 327 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.
- Μ. Αφτιάς, (1992), Υδρεύσεις, Αθήνα: ΕΜΠ.
- Μ. Σπηλιώτης, (2004), Υδρεύσεις Οικισμών (Συμπληρωματικές σημειώσεις), Αθήνα: ΕΜΠ.
- Χ. Μακρόπουλος, Α. Ευστρατιάδης, και Π. Κοσιέρης, Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Υδρεύσεις, 80 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2019.

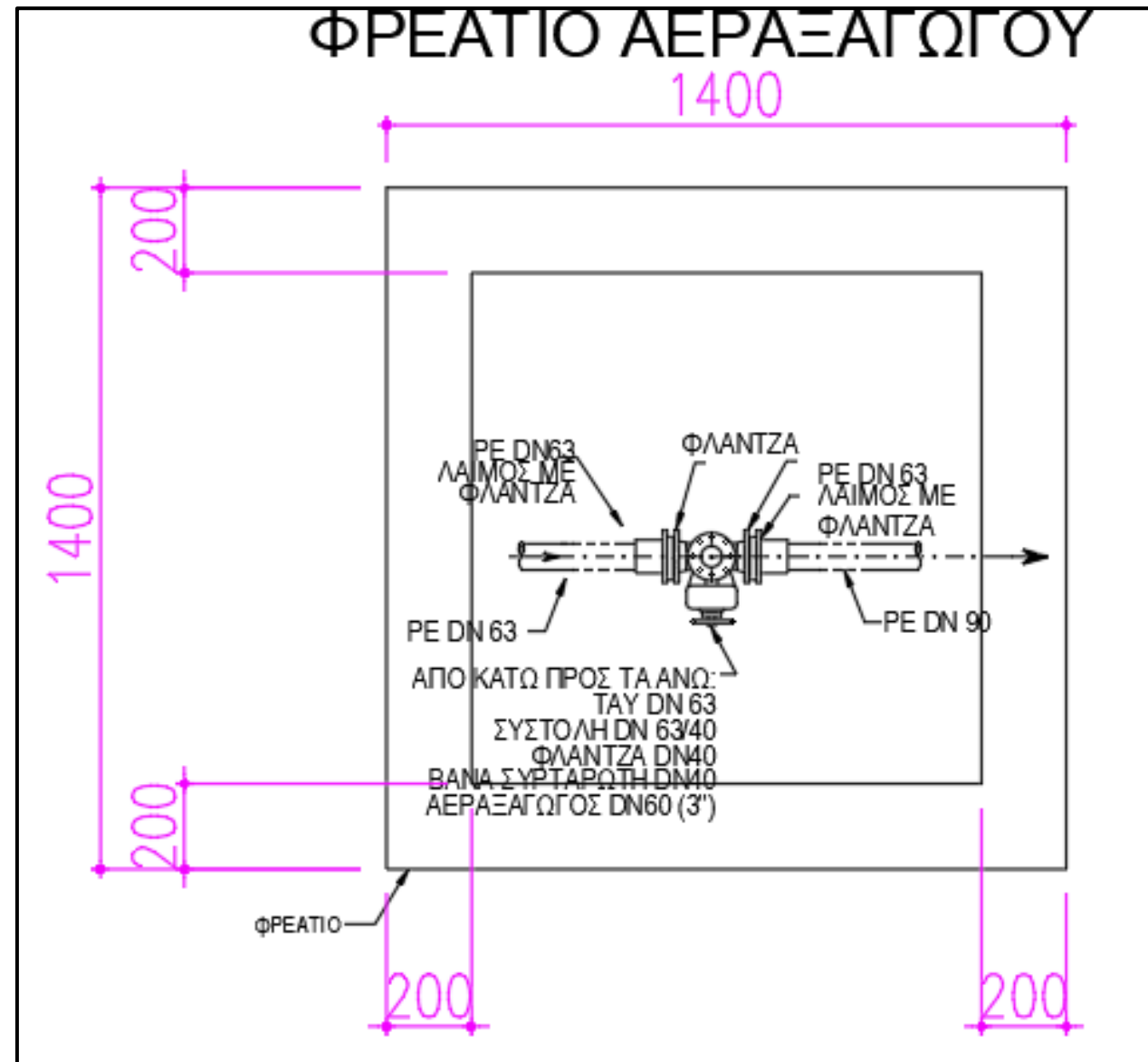
Ξένη Βιβλιογραφία

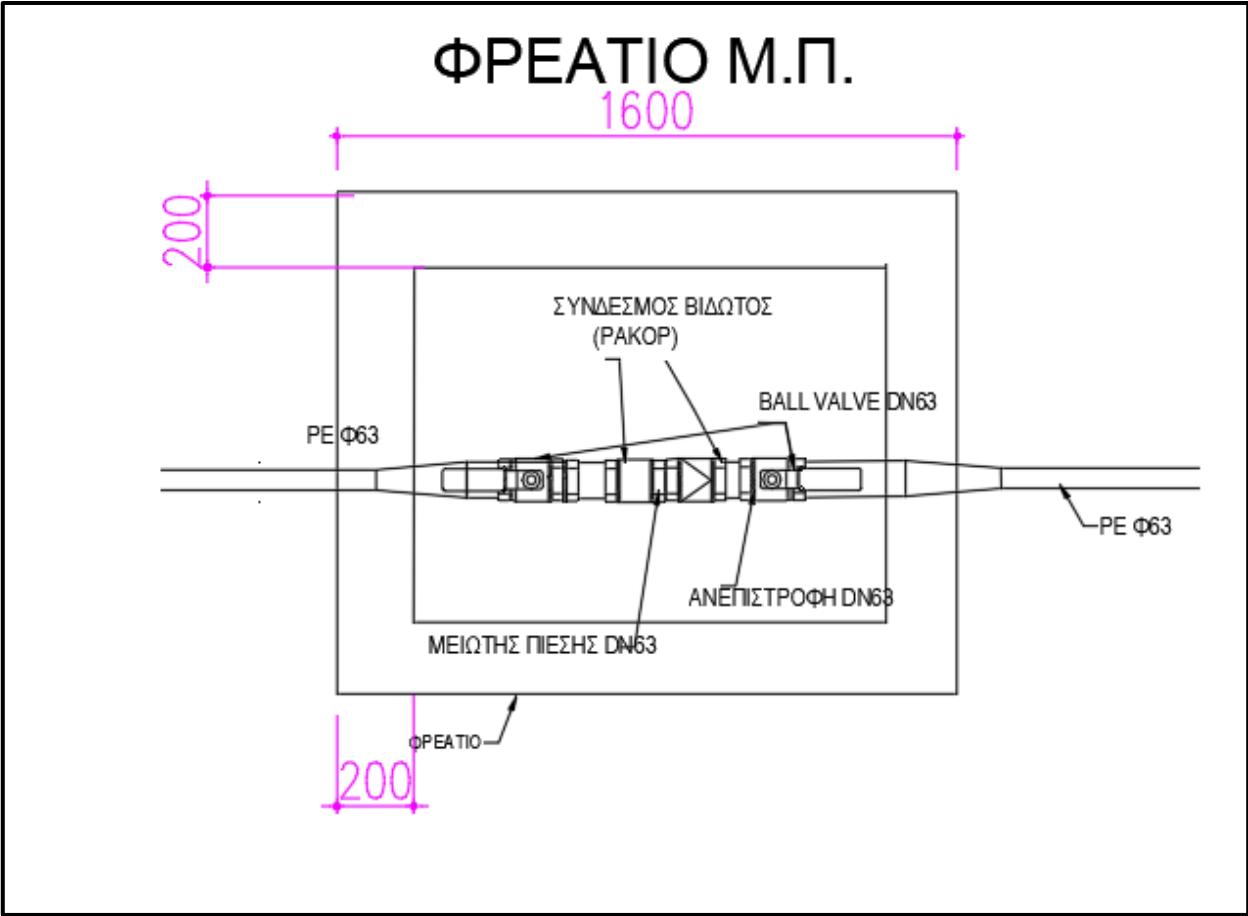
- Australasian Society for Trenchless Technology, Guidelines for Horizontal Directional Drilling, Pipe Bursting, Microtunnelling and Pipe Jacking, 2009
- Britta Schoesser, Markus Thewes, Marc Peters, Steffen Praetorius, International No-Dig 2011 29th International Conference and Exhibition Practice-Oriented Guideline for the Choice of an Adequate Bentonite Suspension for Lubrication in Pipe Jacking, May 2011, Berlin, Germany
- G. Milligan, P. Norris, Pipe jacking, Research results and recommendations, Pipe Jacking Association
- Greg Illig (2000). Protecting Concrete tanks in water and wastewater treatment plants, USA
- Kramer, S. R., McDonald, W.J., & Thomson, J.C. (1992). An introduction to Trenchless Technology

- Min Shang, Qiang Xu & Yiguo Xue, Application of guided boring trenchless technology on pipeline cross railway, International Conference on Multimedia, 2011
- Pipe Jacking Association, An introduction to pipe jacking and microtunnelling
- Romain Rodrigues, Stéphane Gaboreau, Julien Gance, Ioannis Ignatiadis, Stéphanie Betelu (2020). Reinforced concrete structures: A review of corrosion mechanisms and advances in electrical methods for corrosion monitoring, USA
- Rossman L.A. (1993). The EPANET Water Quality Model, Research Studies Press Ltd, Somerset, England.
- Rossman, L.A. (2000). EPANET 2 User's Manual, Cincinnati, OH, USA.

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

- Βικιπαίδεια (el.wikipedia.org)
- http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/2535/vafiadisg_network.pdf?sequence=3
- <https://www.antech.co.uk/> Why A Gyro System Is So Important For Horizontal Directional Drilling
- <http://www.dhmosktzoumerkwn.gr/>
- <http://www.eydap.gr/>
- <https://www.hartenergy.com/> History of horizontal directional drilling
- <http://www.hydropower.org/>
- <http://www.isekimicro.com/> about Microtunnelling
- <http://www.lagie.gr/>
- http://odysseus.culture.gr/index_gr.html
- <https://pezzimenti.com.au/> Auger Extraction, A Microtunneling System that Extracts Spoil using minimum water





ΦΡΕΑΤΙΟ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗΣ (ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ)

