ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η διαχείριση των δικτύων ύδρευσης στους άξονες της ποσότητας, της ποιότητας και της ενέργειας.

ΠΑΤΕΛΗΣ ΜΕΝΕΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ, 2023

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής

Κανακούδης Βασίλειος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής

Κεραμάρης Ευάγγελος, Αν. Καθηγητής, ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Τρίτος Εξεταστής

Καρακασίδης Θ., Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μέσα στις πιο σημαντικές προσπάθειες ανήκει η εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, θέλω να ευχαριστήσω σχετικά , τους ανθρώπους που με στήριξαν και υπήρξαν οι μεγαλύτεροι εγγυητές των προσπάθειών μου και συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να πιστεύουν στο αποτύπωμά μου, τους γονείς μου, Πατέλη Δημήτριο – Παντζουρέλη Ιωάννα.

Να την ευχαριστήσω και να εκτιμήσω την αμέριστη υποστήριξη της πλέον συζύγου μου, Πυργιώτη Αθηνάς, που από παιδί μοιράστηκε μαζί μου ‘τον πανικό της Κοζάνης’ παρακολουθώντας θετικά προσκείμενη τις προσπάθειες μελέτης μου παράλληλα με την εξέλιξη της ζωής μας.

Τους συνεργάτες μου , τους συναδέλφους και πλέον πολύ καλούς μου φίλους που γνώρισα στη διαδρομή της εκπαιδευτικής μου πορείας και πιο συγκεκριμένα τον εδώ και έτη συνέταιρο στην επαγγελματική μου ζωή και είδωλο του χρονοκαθρέφτη μου, Κωνσταντίνο Γκονέλα με τον οποίο μοιράζομαι την ίδια έμπνευση και έννοια για το ρέον ύδωρ.

Τους φοιτητές που τότε επέλεξαν την ομάδα του εργαστηρίου και εμπιστευτήκαν το πρόσωπο του καθηγητή Κανακούδη Βασίλειου και το δικό μου για την διπλωματική τους εργασία. (Κορκανά Παναγιώτα, Βασιλόπουλο Ιωάννη, Κράββαρη Αναστασία, Χατζηβασίλη Σταυρούλα, Βολάνης Ευάγγελος, Ζαχαριουδάκης Άγης, Θεοφιλόπουλο Γεώργιο, Ξυπνητό Γιάννο, Τζίμηρη Απόστολο, Βασιλάκης Γεώργιος, Σπαχή Άγγελο, Τσιόκανο Αθανάσιο, Ρωμανά Αθανάσιο, Βερίλλη Μαίρη, Τολιόπουλο Αθανάσιο, Μαγούλα Μαριάννα, Κούρμπαση Νικόλαο, Τσιμοπούλου Δάφνη). Όλοι τους έβαλαν το λιθαράκι τους σε αυτή την εργασία και μου απέδειξαν την ποιότητα του χαρακτήρα τους καθώς οι περισσότεροι είναι ακόμα κοντά μου ενώ λίγοι είναι καθημερινά δίπλα μου.

Τον άνθρωπο που ασυμβίβαστα υποστήριξε την αξία του μηχανικού μπροστά στα βλέμματα των νέων μηχανικών που τόσα αμφισβητούμε όταν τίποτα δεν γνωρίζουμε. Τον καθηγητή που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με τη δεύτερη πιο σημαντική ύλη του σύμπαντός μας, το νερό.

Τον Κανακούδη Βασίλειο που με πήρε από το χέρι και έδειξε τεράστια υπομονή και επιμονή στο πρόσωπό μου ώστε να φτάσω στην ολοκλήρωση αυτού του έργου. Η τακτική του οποίου βασίστηκε στην ευγενή πίεση, στο ενδιαφέρον της ανθρώπινης φύσης, υποστήριξε την ευστάθεια της προσωπικής ζωής, μου άνοιξε τα μάτια προς κάθε ορίζοντα για να εκτιμήσω πραγματικά την αξία της γνώσης και της επιστήμης.

Σε όλους εσάς… ευχαριστώ.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Περίληψη

Το νερό αποτελεί το σημαντικότερο αγαθό της ζωής μας. Η ποσότητα και η ποιότητά του καθορίζουν τη ζωή μας και την υγεία μας. Η ενέργειά του πήγε μπροστά πολλές φορές την ανθρωπότητα μπροστά και εξακολουθεί να αποτελεί το σημαντικότερο συντελεστή της ανάπτυξής μας. Η μελέτη του νερού έχει αποδείξει πως πάντα αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα και αναβαθμίζει την εικόνα και τη διαχείρισή του. Έχουμε πλέον εθνικά φτάσει σε ένα σημείο υπερεκμετάλλευσης αυτού του πόρου χωρίς να δείξουμε το απαραίτητο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια για τη γενικότερη διασφάλισή του. Τα δίκτυα ύδρευσης, μεταφοράς και διανομής αποτελούν τους σημαντικότερους καταναλωτές πόσιμου νερού και η σημασία τους είναι ζωτική. Η διαχείριση των δικτύων και εμμέσως του φυσικού πόρου μέχρι σήμερα έμενε κυρίως στην τμηματική προσέγγιση των υφιστάμενων προβλημάτων που πότε αφορούσαν την ποσότητα και πότε την ποιότητα.

Το αντικείμενο αυτής της διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη των δικτύων ύδρευσης ολοκληρωμένα, καλύπτοντας παράλληλα το ίδιο ερευνητικό θέμα από τρεις πλευρές. Αυτή της ποσότητας, της ποιότητας και της ενέργειας. Η ανάλυση των θεωριών και των διεθνών πρακτικών έγινε παράδειγμα εφαρμοσμένο σε ελληνικά δίκτυα ύδρευσης ανεπτυγμένα σε λογισμικά υδραυλικής προσομοίωσης, σε επίπεδα ψηφιακών διδύμων. Η ποικιλία της ελληνικής γης και εφαρμογής δραστηριοτήτων ανέδειξε μεγάλες διαφορές στις συμπεριφορές των δικτύων από περιοχή σε περιοχή. Η γενικότερα γνωστή προσέγγιση της ρύθμισης της πίεσης και των περιορισμένων καταναλώσεων ή απωλειών ερευνήθηκε με γνώμονα τις επιπτώσεις στην ποιότητα και πιο συγκεκριμένα την επιρροή της στην ηλικία του νερού. Τεκμηριώθηκε μαθηματικά η ανάγκη παρακολούθησης της ηλικίας όταν εφαρμόζεται μία τακτική ρύθμισης ενώ προσεγγίστηκε και το βέλτιστο σημείο παράλληλης διαχείρισης ως χρυσή τομή μεταξύ ρύθμισης της πίεσης και ποιότητας. Αντικείμενο επίσης αποτέλεσε η εκτίμηση της διαθέσιμης ενέργειας μέσα στα υδραυλικά δίκτυα, τόσο μεταφοράς όσο και διανομής. Η εκτεταμένη διαχείριση της πίεσης ανέδειξε την ευκαιρία, να μετατραπεί σε χρήσιμη μορφή η ενέργεια που καταστρέφεται ώστε να ελεγχθούν οι επιπτώσεις της στα υλικά ενώ παράλληλα έχουμε μία νέα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Για την ακριβή εφαρμογή όμως της ανάκτησης ενέργειας, σχεδιάστηκε ειδική διάταξη υδροτουρμπίνας με μοναδικά χαρακτηριστικά και πολύ χαμηλό κόστος η οποία έγινε και πειραματική διάταξη σε πραγματικά μεγέθη ώστε να αποδείξει την επάρκεια της.

Ο επικεφαλής ερευνητικός στόχος της διατριβής είναι η προσαρμογή της εθνικής διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης με τρόπο πιο ασφαλή για τη δημόσια υγεία, πιο βιώσιμο για τους υδατικούς μας πόρους και πιο ανταγωνιστικό σε όρους ενέργειας και οικονομίας. Οι αναλυτικότεροι στόχοι που συντελούν στον παραπάνω, είναι η απόδειξη μέσω αξιόπιστων παραδειγμάτων της αμέλειας προς την ποιότητα του νερού και η ανάδειξη της ευκαιρίας ανάκτησης ενέργειας που παγκόσμια τόσο διερευνάται.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η μεθοδολογία με την οποία προσεγγίστηκε γενικώς η έρευνα ήταν η αναλυτική και εκτενής ανάγνωση της διεθνούς βιβλιογραφίας, ώστε να σχηματισθεί η καλύτερη δυνατή άποψη και γνώση των μέχρι σήμερα πρακτικών αλλά και των διαθέσιμων αποτελεσμάτων. Έμφαση δόθηκε στην εθνική μας βιβλιογραφία η οποία όμως είχε πολύ μικρότερο αριθμό ερευνητικών προσπαθειών. Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή μίας ομάδας περιοχών με διαφορετικά χαρακτηριστικά για να μελετηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα μελέτης και εφαρμογής των πρακτικών. Αναπτύχθηκαν ψηφιακά μοντέλα σε επίπεδα ψηφιακών διδύμων στα οποία εφαρμόστηκαν εκατοντάδες ερευνητικά σενάρια. Τα δεδομένα ανέδειξαν πολύ σημαντικές πληροφορίες που αξιολογήθηκαν και παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή ενώ, ενώ διαπιστώνοντας πως υπάρχει ανάγκη πρακτικά για μία νεότερη διάταξη ανάκτησης ενέργειας, μελετήθηκαν οι υπάρχουσες διατάξεις, βρέθηκε η κοινή τους αδυναμία και πειραματικά αναπτύχθηκε μία που ξεχωρίζει.

Τα ευρήματα της μελέτης είναι η εξάρτηση της ποιότητας από την ποσότητα, η διακύμανση της συμπεριφοράς των διαφορετικών δικτύων και η αξία της προσέγγισης του καθενός μοναδικά. Τα δίκτυα πολλές φορές μπορούν να κρύβουν μέσα τους σημαντικές ποσότητες ενέργειας και δόθηκε ένας πολύ καλός τρόπος για να αξιολογηθεί αυτό και να εφαρμοστεί κατάλληλος εξοπλισμός για την ανάκτησή της. Το κυριότερο εύρημα όλων είναι η ανάγκη της παράλληλης διαχείρισης της ποιότητας, ποσότητας και ενέργειας για την αποφυγή δυσάρεστων επιπτώσεων από τη μονομερή προσέγγιση. Καθολικά μπορεί να κανείς να αναγνωρίσει καινοτόμα χαρακτηριστικά τόσο στα συνοπτικά σχόλια κάθε ανάλυσης αλλά πολύ ενδιαφέρον μπορεί να δοθεί στη διάταξη της υδροτουρμπίνας που πιάνει χρονικό συντελεστή απόδοσης που αγγίζει το 100%.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Abstract

Water is considered one of the most important components of our life. Its quantity and quality determine our health and lives. Hydraulic power has helped humanity advance loads of times in the past and remains a very important factor of our development. Studying water has been proved essential over the years as it always brings results that help us improve our understanding of its power and its management. We have reached a point where we, as a nation, exploit this resource without taking interest in the fact that it is not limitless. Instead of overusing it measures should be taken in order to ensure the protection of water sources. The networks created to supply, transmit and distribute water are the basic 'consumers' of drinkable water and their importance is vital for people. So far, network management, which, indirectly, means the management of the natural source, approached the matter partially, focusing mostly on fixing current issues that appeared over time and involved either its quality or its quantity; not both.

Subject of this Doctoral Thesis is the studying of water supply networks as fully as possible, covering the same research topic from three different angles; the quantity one, the quality one and that of energy. The analysis of the theoretical and international practices has been applied to greek water networks through the use of advanced software in hydraulic simulation in level of digital twins. The variety of greek soil types and activities has shown great differences in network behaviour from place to place. The well-known approach of pressure regulation and restricted consumption or losses was researched based on what consequences would be observed in water quality; especially how these two parameters affect water age. The necessity of monitoring water age when a tactic of regulation is applied was mathematically documented. Furthermore, the optimal point of simultaneous management was sought to reach the 'golden ratio' between pressure regulation and water quality. In addition, estimation of the available–usable energy inside the transmission and distribution hydraulic networks was studied. Pressure management over long periods of times has pointed out the chance to convert the energy that is lost into another usable form to control its consequences on materials, whilst it comes back as a renewable source. For the exact application of energy recovery, a special hydro-turbine was designed with unique features and very low cost which was used experimentally in a real-size simulation to prove its sufficiency.

This thesis aims first and foremost at the adjustment of the national water supply network management in ways safer for the public health, more viable for our water sources and more competitive in terms of energy as well as economy. The most basic side goals are proving the negligence towards quality of water through trustworthy examples and highlighting the opportunity of energy recovery which is explored globally.

The methodology with which the research was approached was the analytical and extensive reading of international bibliography in order to form the best possible perspective on the matter thanks to the knowledge and understanding gained from studying the tactics that have been applied until

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

today, as well as every available result collected over the years. Emphasis was given to our national bibliography, but the number of research efforts is very small in comparison. The next step was choosing to study a group of areas consisting of different characteristics and use them as case-studies by applying the different tactics. Digital models were developed in level of digital twins in which hundreds of probable scenarios were analyzed. Data showed very important information that were evaluated and are presented in this paper. In the meantime, after realizing the need to find a new way to recover energy, the existing patterns were studied, their common weakness was discovered and, in the end, a pattern that stood out was experimentally developed.

Findings of this research are the dependency between quality and quantity of water, the different behavior each network presented and the value of studying each component separately. Water networks 'hide' in them high energy levels loads of times, so a good way to evaluate those levels is provided, as well as solutions on what is the appropriate applicable equipment to recover that energy. The most important finding is the realization that management of water quality, quantity and energy needs to be done simultaneously, considering that uni-lateral approach will only cause unpleasant results. Innovative points can be recognized in the summary comments of every model analysis, but interest should be given to the arrangement of the hydro-turbine which results in time coefficient reaching 100% output.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ..... **i**

Περίληψη ..... **ii**

Abstract ..... **iv**

Περιεχόμενα ..... **vi**

Κατάλογος Εικόνων ..... **x**

Κατάλογος Πινάκων ..... **xii**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή **1**

1.1. Γενικά 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η Αξία Του Νερού Σε Παγκόσμιο Επίπεδο **4**

2.1. Το νερό: πολύτιμο συστατικό της ανθρώπινης ζωής σε έλλειψη 4

2.2. Οικονομική διάσταση του νερού 6

2.2.1. Το νερό ως οικονομικό αγαθό σε παγκόσμια κλίμακα 6

2.2.2. Το νερό ως ανάγκη, δημόσιο αγαθό και κοινωνικό αγαθό 7

2.2.3. Το νερό ως οικονομικό αγαθό σε επίπεδο χώρας 10

2.3. Κρατική Παρέμβαση 13

2.3.1. Το Δόγμα Δημόσιας Εμπιστοσύνης 13

2.3.2. Ιδιωτικό ή δημόσιο αγαθό; 13

2.4. Βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων 15

2.4.1. Διαχείριση της προσφοράς του νερού 15

2.4.2. Διαχείριση της ζήτησης του νερού 16

2.5. Οι χρήσεις του νερού 16

2.6. Η οικιακή χρήση του νερού 17

2.7. Οι παράγοντες που καθορίζουν τη ζήτηση του οικιακού νερού 17

2.8. Η ανάκτηση πλήρους κόστους 18

2.9. Προβλήματα στην αξιοποίηση υδατικών πόρων στην χώρα μας 20

2.10. Θεμελιώδεις έννοιες υδατικού ισοζυγίου 21

2.11. Σχέση μεταξύ της διαχείρισης της πίεσης και των απωλειών 24

2.12. Οικονομικά οφέλη διαχείρισης πίεσης 25

2.13. Στεγανές υποζώνες (DMAs – District Metered Areas) 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ποιότητα Του Νερού Στο Δίκτυο Και Ηλικία **29**

3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλικία 29

3.2. Επιπτώσεις της αύξησης της ηλικίας του νερού σε ένα δίκτυο 30

3.3. Συστατικά Μη Ανταποδοτικού Νερού 32

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

3.4. Παραδείγματα διαφοροποίησης της ηλικίας του νερού 33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Η Ευρωπαϊκή Και Εθνική Νομοθεσία Για Τη Διαχείριση Των Υδατικών Πόρων 34

4.1. Διεθνείς Συμβάσεις 34

4.2. Το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο 35

4.2.1. Βασικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες σχετικά με το νερό 35

4.2.2. Η Οδηγία-Πλαίσιο για το νερό 2000/60/ΕΚ 37

4.3. Η εθνική νομοθεσία 42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Το Υδραυλικό Μοντέλο ή Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) 47

5.1. Η αξία του συστήματος 48

5.2. Εφαρμογές 49

5.2.1. Ο χώρος της υγείας 49

5.2.2. Οι εφαρμογές στην μετεωρολογία 50

5.2.3. Εφαρμογές στον χώρο της βιομηχανίας 52

5.2.4. Δίδυμη μοντελοποίηση στο χώρο της εκπαίδευσης 53

5.2.5. Πόλεις και ενεργειακός τομέας 54

5.3. Προκλήσεις 54

5.4. Οικονομετρικά μοντέλα 55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Digital Twin Hydraulic Model 56

6.1. Εννοιολογική προσέγγιση 56

6.2. Στόχοι 56

6.3. Τα θεμέλια της υδραυλικής μοντελοποίησης 58

6.4. Η εισαγωγή των δεδομένων 60

6.5. Η ρύθμιση του μοντέλου 61

6.6. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου 61

6.7 Συντήρηση 63

6.7.1 Ενημερωμένο μοντέλο διάγνωσης σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο με χρήση αλγόριθμου LOF 65

6.7.2 Η προγνωστική συντήρηση με βάση τις παραμέτρους σφάλματος εικονικού μοντέλου 66

6.8. Η διάγνωση βλαβών 68

6.9. Υφιστάμενα προβλήματα 70

6.10. Αναγκαιότητα εφαρμογής της τεχνικής digital twin 71

6.11. Χαρακτηριστικά εφαρμογής της τεχνικής digital twin 72

6.11.1 Η αρχιτεκτονική συστήματος διαχείρισης λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής με βάση την τεχνική ψηφιακής διπλής λειτουργίας 72

6.12. Αντίμετρα 75

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Μελέτες Περιπτώσεων..... 76

7.1. Η περίπτωση της πόλης της Αιανής.....77

7.1.1. Λίγα λόγια για την Αιανή.....77

7.1.2. Σενάρια διαχωρισμού του δικτύου σε στεγανές υποζώνες (DMAs).....80

7.2. Η περίπτωση της πόλης της Καρδίτσας.....89

7.2.1. Γενικά.....89

7.2.2. Η Δημοτική Επιχείρηση.....89

7.2.3. Μεταφορά και διανομή του νερού στο δίκτυο.....92

7.2.4. Προβλήματα του υφιστάμενου δικτύου.....93

7.2.5. Διαχωρισμός του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας σε DMAs.....93

7.3. Η περίπτωση της περιοχής Νέα Δημητριάδα Βόλου.....115

7.3.1. Περιγραφή του δικτύου της Νέας Δημητριάδας.....115

7.3.2. Σενάριο 1,2- Μελέτη της ηλικίας και της πίεσης της υφιστάμενης κατάστασης έως τη βέλτιστη λύση τμηματοποίησης και χρήσης PRVs.....118

7.3.3. Σενάριο 3 – Διαχωρισμός δικτύου σε 4 DMAs.....128

7.3.4. Αντιμετώπιση προβλημάτων στο δίκτυο - Πρόταση λύσεων και κόστους.....137

7.3.5. 1ο Στάδιο : Επιλογή κατάλληλου χωρισμού σε στεγανές μετρούμενες υποζώνες (DMAs)...137

7.3.6. 2ο Στάδιο : Τρίτο σημείο εισόδου νερού με προσθήκη νέου αγωγού από την Οδό Αλκίπης 138

7.3.7. 3ο Στάδιο: Εγκατάσταση PRVs στο τροποποιημένο δίκτυο.....141

7.3.8. 4ο Στάδιο: Προσθήκη PRVs στο τροποποιημένο δίκτυο.....144

7.4. Η περίπτωση της πόλης της Κω.....150

7.4.1. Εκμετάλλευση Υδατικών Πόρων.....150

7.4.2. Δίκτυο Μεταφοράς και Διανομής.....151

7.4.3. Τα προβλήματα στο εν λόγω δίκτυο.....152

7.4.4. DMA’s στο δίκτυο υδροδότησης της Κω.....152

7.4.5. Στοιχεία του δικτύου.....153

7.4.6. Τα σενάρια.....155

7.4.7. Ηλικία του νερού των κρίσιμων κόμβων.....156

7.4.8. Πίεση του νερού των κρίσιμων κόμβων.....160

7.4.9. Αξιολόγηση των σεναρίων.....164

7.4.10. Η ηλικία του δικτύου μετά και τη ρύθμιση της πίεσης των PRVs – ρυθμός ενηλικίωσης – η μέθοδος της χρυσής τομής.....167

7.5. Η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης.....172

7.5.1. Λίγα λόγια για την πόλη της Κοζάνης και το δίκτυο ύδρευσης.....172

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.5.2. Προβλήματα που εντοπίζονται στο υπάρχον δίκτυο 174
7.5.3. Μελέτη της ηλικίας και της πίεσης του δικτύου 175
7.5.4. Σχολιασμός της ηλικίας και της πίεσης των κρίσιμων κόμβων.....175
7.5.5. Συγκεντρωτικοί πίνακες και γραφήματα της ηλικίας, της πίεσης και της ζήτησης 177
7.5.6. Μέγιστη και μέση ηλικία ανά DMA- Σενάριο 1,2,3 182
7.5.7. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πίεσης ανά DMA – Σενάριο 1,2,3 184
7.5.8. Ρύθμιση της πίεσης των PRVs και διαμόρφωση της ηλικίας του νερού 187

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Ο Ρυθμός Ενηλικίωσης Του Δικτύου Ως Δείκτης Ποιοτικής Εξέλιξης Του Νερού 200

8.1. Επίλυση των υδραυλικών μοντέλων - ψηφιακών διδύμων ως προς την ποιότητα για παρατεταμένο χρόνο. 200
8.2. Ο ρυθμός ενηλικίωσης στα δίκτυα της Αιανής, της Νέας Δημητριάδας και της Κω.....201
8.3. Ρυθμός ενηλικίωσης της Κοζάνης με περιγραφή της ενηλικίωσης από αντικειμενική συνάρτηση 203
8.3.1. Οι συναρτήσεις ενηλικίωσης του νερού στις πιο βασικές ζώνες DMA.....203
8.3.2. Συνάρτηση ενηλικίωσης. Σενάριο 1ο: Υφιστάμενη κατάσταση (χωρίς DMAs, χωρίς PRVs). 206
8.3.3. Συνάρτηση ενηλικίωσης. Σενάριο 2ο: Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs (Με DMAs, χωρίς PRVs). 212
8.3.4. Συνάρτηση ενηλικίωσης. Σενάριο 3ο: Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs και εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης της πίεσης (Με DMAs, Με PRVs).....219
8.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων 225

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Το Ενεργειακό Δυναμικό Των Δικτύων Μεταφοράς Και Διανομής Νερού Των Πόλεων. 227

9.1. Ο ρόλος των ψηφιακών διδύμων και των λογισμικών υδραυλικής επίλυσης στην διαχείριση και την ανάκτηση ενέργειας στα δίκτυα ύδρευσης 227
9.2. Προτεινόμενη διάταξη ανάκτησης ενέργειας μέσα από πειραματική ανάπτυξη 230
9.2.1. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω υδροτουρμπίνας (PAT).....230
9.2.2. Λειτουργία υδροτουρμπίνας (PAT) 230
9.2.3. Επιλογή βέλτιστης θέσης εγκατάστασης μικρό-υδροτουρμπίνας.....231
9.2.4. Καμπύλες λειτουργίας μικρό-υδροτουρμπίνας.....231
9.2.5. Η αντλία PAT του πειράματος 232
9.2.6. Εκτέλεση του πειράματος και αποτελέσματα 232
9.2.7. Δοκιμαστικός έλεγχος.....233
9.2.8. Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....235
9.3. Υπολογισμός και Σχεδιασμός των Καμπυλών Λειτουργίας 241
9.4. Η εκτίμηση ενεργειακού δυναμικού του εξωτερικού υδραγωγείου της Κοζάνης.....243
9.4.1. Ανάδειξη και Επιλογή Πιθανών Σημείων Εγκατάστασης Υδροτουρμπινών στο Δίκτυο 243

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.4.2. Άνω Τμήμα....248
9.4.3. Κάτω Τμήμα....254
9.4.4. Σχόλια Περί Αποτελεσμάτων....258
9.5. Η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του δικτύου διανομής της πόλης της Κοζάνης....259
9.5.1. ΘΕΣΗ 1....260
9.5.2. Εκτίμηση ενέργειας αγωγού για κάθε θέση....260
9.5.3. Η ανάκτηση ενέργειας ως μέσο ρύθμισης της πίεσης – Το μέγιστο πλεονέκτημα....262
9.7. Συμπεράσματα Κεφαλαίου....266
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Καθολικά Συμπεράσματα....268
Βιβλιογραφία....271
Παραρτήματα....287
Η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του δικτύου διανομής της πόλης της Κοζάνης....287
Εκτίμηση ενέργειας αγωγού για κάθε θέση....305
Δημοσιευμένες Εργασίες....315

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Χάρτης Διαθεσιμότητας νερού (World Water Assessment Program, 2009) 4
Εικόνα 2 Αποτύπωση του ποσοστού του πληθυσμού που χρησιμοποιεί καλής ποιότητας νερό (Environmental Systems Research Institute,2004) 5
Εικόνα 3 Οικονομικά στοιχεία στην Οδηγία 2000/60 (5), πηγή: Βοϊβόντας και Ασημακόπουλος, 2002 19
Εικόνα 4 Μέση ετήσια συνολική απορροή στην Ελλάδα, πηγή: Μιμίκου, 2004 20
Εικόνα 5 Οικονομικά στοιχεία στην Οδηγία 2000/60 (5), πηγή: Βοϊβόντας και Ασημακόπουλος, 2002 42
Εικόνα 6 Δομή Δεδομένων 59
Εικόνα 7 Η βασική ροή διάγνωσης και πρόβλεψης σφαλμάτων από το ψηφιακό δίδυμο μοντέλο, Πηγή: Wang et. al. , 2022 64
Εικόνα 8 Τέσσερις φάσεις στη διαδικασία της πρόβλεψης της παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφραγίδας 67
Εικόνα 9 Πειραματική πλατφόρμα με κοινές μονάδες σφάλματος 69
Εικόνα 10 Η περιοχή της Αιανής. Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας 77
Εικόνα 11 Τοπογραφικός χάρτης Αιανής 78
Εικόνα 12 Αποτύπωση υδραυλικού μοντέλου της πόλης της Αιανής 78
Εικόνα 13 Δίκτυο Αιανής σε μορφή CAD 79
Εικόνα 14 Σενάριο χωρισμού σε 4 DMA's 81
Εικόνα 15 Τροφοδοτικό Σύστημα της Καρδίτσα 90
Εικόνα 16 Μονάδα Επεξεργασίας Νερού (Σύνδεσμος Ύδρευσης) 91
Εικόνα 17 Ζωνοποίηση του δικτύου σε 11 DMAs 94
Εικόνα 18 Ηλικιακή απεικόνιση των κόμβων του δικτύου σε περίοδο 24 ωρών 97
Εικόνα 19 Ηλικιακή απεικόνιση των κρίσιμων κόμβων του δικτύου για το 1ο σενάριο 98
Εικόνα 20 99
Εικόνα 21 Απεικόνιση της πίεσης των κρίσιμων κόμβων για το σενάριο 1ο 101
Εικόνα 22 Ο χρόνος παραμονής του νερού για το σενάριο 1ο 102
Εικόνα 23 Απεικόνιση της ηλικίας των κρίσιμων κόμβων για το 2ο σενάριο 106

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 24 Η πίεση των κόμβων του δικτύου για το 2ο σενάριο 108
Εικόνα 25 Η θέση των κρίσιμων κόμβων του δικτυού για το 2ο σενάριο 108
Εικόνα 26 Χρόνος παραμονής του νερού για το σενάριο 2ο. 109
Εικόνα 27 Οι κεντρικοί δρόμοι της Νέας Δημητριάδος Βόλου 115
Εικόνα 28 Πανοραμική όψη της Νέας Δημητριάδας (Google Earth) 116
Εικόνα 29 Χρωματική προβολή των αγωγών του δικτύου σε mm 117
Εικόνα 30 Οδεύσεις δύο δεξαμενών υδροδότησης 117
Εικόνα 31 Σενάριο χωρίς DMAs. Παρουσίαση κόμβων ως προς την πίεση 118
Εικόνα 32 Σενάριο χωρίς DMAs. Παρουσίαση αγωγών ως προς την ηλικία του νερού 119
Εικόνα 33 Οι μεγαλύτερες ηλικίες και οι χαμηλότερες πιέσεις του νερού 120
Εικόνα 34 Σενάριο 1ο - No DMAs – Επισήμανση κρίσιμων κόμβων 121
Εικόνα 35 Σενάριο χωρισμός σε 2 DMAs. Χρωματική διαβάθμιση ηλικίας νερού 123
Εικόνα 36 Σενάριο χωρισμός σε 2 DMAs. Κρίσιμοι κόμβοι. 124
Εικόνα 37 Σενάριο χωρισμός σε 2 DMAs. Περιοχή με τη μέγιστη ηλικία νερού. (βελτιωμένη κατάσταση) 126
Εικόνα 38 Σενάριο χωρισμού σε 4 DMAs. Ηλικιακή διαβάθμιση νερού. 128
Εικόνα 39 Σενάριο 3ο -Κλειστοί αγωγοί και διαχωρισμός σε τέσσερις DMAs 129
Εικόνα 40 Σενάριο 3ο. - Περιοχή με τις μεγαλύτερες ηλικίες. (Βελτιωμένη κατάσταση από την αρχική, δυσμενέστερη από τον χωρισμό σε 2 DMAs) 130
Εικόνα 41 Σενάριο χωρισμού σε 4 DMAs. Εντοπισμός των κρίσιμων κόμβων ανά DMA 130
Εικόνα 42 Νέα Είσοδος, βελτιωμένη ανταπόκριση. 138
Εικόνα 43 Μετατροπή του αγωγού και κρίσιμοι κόμβοι 139
Εικόνα 44 Χρήση της οδού Αλκίπης ως είσοδο και κρίσιμες περιοχές 139
Εικόνα 45 Τοποθέτηση PRV-s 142
Εικόνα 46 Θέση βαλβίδων απομείωσης της πίεσης 145
Εικόνα 47 Κλειστοί αγωγοί για την εφαρμογή βαλβίδων 146
Εικόνα 48 Κρίσιμοι κόμβοι (DMA 2) 149
Εικόνα 49 Το δίκτυο χωρισμένο με κριτήριο την διάμετρο των αγωγών. 153
Εικόνα 50 Διαχωρισμός της Κω σε DMAs 154
Εικόνα 51 PRVs και DMAs στο δίκτυο της Κω 154
Εικόνα 52 Ηλικία των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_1 157
Εικόνα 53 Ηλικία του νερού στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_2 158
Εικόνα 54 Ηλικία του δικτύου στους Κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_3 159
Εικόνα 55 Η θέση του κρίσιμου ως προς την ηλικία κόμβου της DMA2 160
Εικόνα 56 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_1 161
Εικόνα 57 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_2 162
Εικόνα 58 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_3 163
Εικόνα 59 Οι ζώνες πίεσης στο δημοτικό δίκτυο ύδρευσης της Κοζάνης 173
Εικόνα 60 Ο τρόπος διαμοιρασμού του νερού στο εσωτερικό και εξωτερικό υδραγωγείο της ΔΕΥΑΚ, Πηγή: Πατέλης, 2013 174
Εικόνα 61 Προσομοίωση της ζήτησης σε 24 ώρες 204
Εικόνα 62 Απόσπασμα λογισμικού από παράδειγμα μελέτης. 227
Εικόνα 63 Φυγοκεντρική αντλία σε καθεστώς a. αντλίας και b. PAT 230
Εικόνα 64 Πειραματική Διάταξη 234
Εικόνα 65 Αναλυτική διαγραμματική περιγραφή πειράματος. 234
Εικόνα 66 Εξεταζόμενοι κόμβοι για το άνω τμήμα. 248
Εικόνα 67 Εξεταζόμενοι αγωγοί για το άνω τμήμα. 248
Εικόνα 68 Σημεία τοποθέτησης υδροτουρμπινών στο άνω τμήμα 250
Εικόνα 69 Απεικόνιση των έξτρα σημείων τοποθέτησης υδροτουρμπινών (επιπλέον, τρία πιεζοθραυστικά) 251
Εικόνα 70 Εξεταζόμενοι κόμβοι για το κάτω τμήμα. 254
Εικόνα 71 Εξεταζόμενοι αγωγοί για το κάτω τμήμα. 255

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 72 Θέση εγκατάστασης όλων των υδροτουρμπινών. 258
Εικόνα 73 259
Εικόνα 74 Σημείο 1 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 260
Εικόνα 75 Τοποθέτηση PRVs ή PaTs στην πρώτη υποζώνη 263
Εικόνα 76 Τοποθέτηση PRVs ή PaTs στην DMA 18 στη δεύτερη υποζώνη 265
Εικόνα 77 Οι τρεις άξονες σε καρτεσιανή μορφή. 270
Εικόνα 78 Σημείο 2 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 287
Εικόνα 79 Σημείο 3 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 288
Εικόνα 80 Σημείο 4 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 289
Εικόνα 81 Σημείο 5 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 290
Εικόνα 82 Σημείο 6 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειαςΣημείο 6 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 291
Εικόνα 83 Σημείο 7 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 292
Εικόνα 84 Σημείο 8 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 293
Εικόνα 85 Σημείο 9 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 294
Εικόνα 86 Σημείο 10 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 295
Εικόνα 87 Σημείο 11 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 296
Εικόνα 88 Σημείο 12 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 297
Εικόνα 89 Σημείο 13 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 298
Εικόνα 90 Σημείο 14 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 299
Εικόνα 91 Σημείο 15 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 300
Εικόνα 92 Σημείο 16 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 301
Εικόνα 93 Σημείο 17 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 302
Εικόνα 94 Σημείο 18 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 303
Εικόνα 95 Σημείο 19 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας 304
Εικόνα 96 Φλάντζα ένωσης και συγκολλητή καμπύλη 311
Εικόνα 97 Πιεσόμετρο 311
Εικόνα 98 Παροχόμετρα 312
Εικόνα 99 Ολοκληρωμένη διάταξη με υδροτουρμπίνα συνδεδεμένη 312
Εικόνα 100 Αντάπτορας σύνδεσης με μάνικα πυροσβεστικού οχήματος 313
Εικόνα 101 Εικόνα δοκιμής από το σύστημα του Φ110 313
Εικόνα 102 Υδροτουρμπίνα με δυναμό σε σύνδεση με ιμάντα 314

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Υδατικό ισοζύγιο σύμφωνα με το IWA 23
Πίνακας 2 Ισοζύγιο του νερού (Κανακούδης&Τσιτσιφλή 2010) (2η Τροποποίηση) 24
Πίνακας 3 Η αύξηση ηλικίας και οι επιπτώσεις της 31
Πίνακας 4 Το κόστος του νερού (Αζαριάδη, 2014) 40
Πίνακας 5 Η Ποιότητα του Νερού και τα κύρια αίτια επιβάρυνσης (Κανακούδης, 1998) 43
Πίνακας 6 Μέθοδοι προσομοίωσης σφαλμάτων 69
Πίνακας 7 Υδατικό Ισοζύγιο Αιανής (2014) 80
Πίνακας 8 Ηλικία των κρίσιμων κόμβων ανά DMA για το πρώτο σενάριο 98
Πίνακας 9 Ηλικία των κρίσιμων κόμβων ανά DMA για το 1ο σενάριο 100
Πίνακας 10 Χρόνος παραμονής του νερού στους κρίσιμους αγωγούς σε κάθε DMA για το σενάριο1ο 104
Πίνακας 11 Ηλικία κρίσιμων κόμβων σε κάθε DMA για το 2ο σενάριο 105
Πίνακας 12 Πίεση κρίσιμων κόμβων σε κάθε DMA για το 2ο σενάριο 107
Πίνακας 13 Διάρκεια του νερού ανά DMA για το 2ο σενάριο 111

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 14 Μέση Ηλικία για κάθε DMA για κάθε σενάριο 112
Πίνακας 15 Μέση Πίεση για κάθε DMA για κάθε σενάριο 113
Πίνακας 16 Μέση χρονική διάρκεια του νερού ανά DMA και για τα δύο σενάρια 114
Πίνακας 17 Σενάριο 1ο – No DMAs. Πίεση και η ηλικία των κρίσιμων κόμβων 120
Πίνακας 18 Σενάριο 2ο – 2 DMAs. Πίεση και ηλικία νερού κρίσιμων κόμβων 125
Πίνακας 19 Σενάριο 3 – 4 DMAs. Πίεση και ηλικία νερού στους κρίσιμους κόμβους 133
Πίνακας 20 Γεωτρήσεις, Ετήσιος όγκος άντλησης και δεξαμενές που καταλήγει κάθε γεώτρηση (Μακρής, 2013) 151
Πίνακας 21 Ηλικία, πίεση και ζήτηση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_1 156
Πίνακας 22 Κρίσιμοι κόμβοι με βάση την ηλικία, πίεση και ζήτηση ανά DMA. Σενάριο_2. 157
Πίνακας 23 Ηλικία, πίεση και ζήτηση νερού στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_3 158
Πίνακας 24 Πίεση, ηλικία και ζήτηση στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_1 160
Πίνακας 25 Πίεση, ηλικία και ζήτηση στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_2 161
Πίνακας 26 Πίεση, ηλικία και ζήτηση στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_3 162
Πίνακας 27 Στοιχεία για την ηλικία και τη ζήτηση νερού στους κόμβους για το Σενάριο 1. 164
Πίνακας 28 Στοιχεία για την ηλικία και τη ζήτηση νερού στους κόμβους για το Σενάριο 2 164
Πίνακας 29 Στοιχεία για την ηλικία και τη ζήτηση νερού στους κόμβους για το Σενάριο 3 165
Πίνακας 30 Πίεση PRVs, εκδοχή 1η 167
Πίνακας 31 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA1α 168
Πίνακας 32 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA1b 168
Πίνακας 33 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA2 169
Πίνακας 34 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA3 169
Πίνακας 35 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA4 170
Πίνακας 36 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA 5 170
Πίνακας 37 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA 6 171
Πίνακας 38 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_1 (Φεβρουάριος) 177
Πίνακας 39 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_1 (Ιούλιος) 178
Πίνακας 40 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_1 (Νοέμβριος) 178
Πίνακας 41 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_2 (Φεβρουάριος) 178
Πίνακας 42 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_2 (Ιούλιος) 179
Πίνακας 43 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_2 (Νοέμβριος) 179
Πίνακας 44 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_3 (Φεβρουάριος) 179
Πίνακας 45 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_3 (Ιούλιος) 180
Πίνακας 46 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_3 (Νοέμβριος) 180
Πίνακας 47 Αρχική ρύθμιση πιέσεων PRVs 187
Πίνακας 48 Πίεση και ηλικία της DMA Μ ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Φεβρουάριος) 188
Πίνακας 49 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Φεβρουάριος) 189
Πίνακας 50 Πίεση και ηλικία της DMA Κ-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Φεβρουάριος) 190
Πίνακας 51 Πίεση και ηλικία της DMA Κ-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Φεβρουάριος) 191
Πίνακας 52 Πίεση και ηλικία της DMA Μ ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Ιούλιος) 192
Πίνακας 53 Πίεση και ηλικίας της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Ιούλιος) 193
Πίνακας 54 Πίεση και ηλικίας της DMA Κ-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Ιούλιος) 194
Πίνακας 55 Πίεση και ηλικία της DMA Κ-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Ιούλιος) 195
Πίνακας 56 Πίεση και ηλικία της DMA Μ ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Νοέμβριος) 196
Πίνακας 57 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Νοέμβριο) 197
Πίνακας 58 Πίεση και ηλικία της DMA Κ-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Νοέμβριος) 198
Πίνακας 59 Πίεση και ηλικία της DMA Κ-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Νοέμβριος) 199
Πίνακας 60 Τιμές πολλαπλασιαστή της ζήτησης ανά ώρα για 24 ώρες 205
Πίνακας 61 Αποτελέσματα των μετρήσεων για τους σωλήνες με διάμετρο Φ-63 235
Πίνακας 62 Αποτελέσματα των μετρήσεων για σωλήνες με διάμετρο Φ-110 238
Πίνακας 63 Κατανομή των νερών σε ετήσια βάση(2011). 244

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 64 Ποσοστό συμμετοχής κάθε υδατικής πηγής στο δίκτυο (2014). _____ *244*
Πίνακας 65 Κατανομή των νερών του δικτύου σε μηναία βάση ανά τμήμα (2014) _____ *245*
Πίνακας 66 Κατανομή συμμετοχής των πηγών και των γεωτρήσεων του δικτύου ανά μήνα (2014) _____ *245*
Πίνακας 67 Καταγραφή της ζήτησης (2014). _____ *246*
Πίνακας 68 Ημερήσια καταγραφή της ζήτησης (2014) _____ *246*
Πίνακας 69 Ημερήσια καταγραφή της ζήτησης (2014) _____ *247*
Πίνακας 70 Ποσοστά συμμετοχής ανά τμήμα (2014). _____ *247*
Πίνακας 71 Απολήψιμο νερό κάθε τμήματος για το 2014. _____ *247*
Πίνακας 72 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014. (Τρίμηνο Α) _____ *251*
Πίνακας 73 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014 (Τρίμηνο Β) _____ *252*
Πίνακας 74 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014. (Τρίμηνο Γ) _____ *252*
Πίνακας 75 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ) _____ *252*
Πίνακας 76 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014. (Τρίμηνο Α) _____ *253*
Πίνακας 77 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014 (Τρίμηνο Β) _____ *253*
Πίνακας 78 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014. (Τρίμηνο Γ) _____ *253*
Πίνακας 79 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ) _____ *253*
Πίνακας 80 Ετήσια έσοδα ανά υδροτουρμπίνα στο άνω τμήμα (2014). _____ *253*
Πίνακας 81 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Α) _____ *255*
Πίνακας 82 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Β) _____ *256*
Πίνακας 83 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Γ) _____ *256*
Πίνακας 84 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ) _____ *256*
Πίνακας 85 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014. (Τρίμηνο Α) _____ *257*
Πίνακας 86 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014. (Τρίμηνο Β) _____ *257*
Πίνακας 87 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014 . (Τρίμηνο Γ) _____ *257*
Πίνακας 88 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ) _____ *257*
Πίνακας 89 Ετήσια έσοδα ανά υδροτουρμπίνα στο κάτω τμήμα (2014). _____ *257*
Πίνακας 90 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 2, ανά δίμηνο _____ *287*
Πίνακας 91 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 3, ανά δίμηνο _____ *288*
Πίνακας 92 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 5, ανά δίμηνο _____ *290*
Πίνακας 93 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 6, ανά δίμηνο _____ *291*
Πίνακας 94 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 7, ανά δίμηνο _____ *292*
Πίνακας 95 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 8, ανά δίμηνο _____ *293*
Πίνακας 96 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 9, ανά δίμηνο _____ *294*
Πίνακας 97 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 10, ανά δίμηνο _____ *295*
Πίνακας 98 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 11, ανά δίμηνο _____ *296*
Πίνακας 99 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 12, ανά δίμηνο _____ *297*
Πίνακας 100 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 13, ανά δίμηνο _____ *298*
Πίνακας 101 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 14, ανά δίμηνο _____ *299*
Πίνακας 102 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 15, ανά δίμηνο _____ *300*
Πίνακας 103 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 16, ανά δίμηνο _____ *301*
Πίνακας 104 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 17, ανά δίμηνο _____ *302*
Πίνακας 105 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 18, ανά δίμηνο _____ *303*
Πίνακας 106 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 19, ανά δίμηνο _____ *304*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Οι εξελίξεις σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν οδηγήσει την κοινή γνώμη να θεωρεί πως υπάρχει η ανάγκη να εξεταστεί ξανά ουσιαστικά ο τρόπος σύμφωνα με τον οποίο διανέμονται, διαχειρίζονται και χρησιμοποιούνται οι πόροι και κυρίως αυτοί που σχετίζονται με την διαχείριση του γλυκού νερού.

Αυτό συμβαίνει, γιατί δυστυχώς σε μια εποχή που βρίθει τεχνολογικών καινοτομιών και των θαυμάτων της επανάστασης της πληροφορίας, εκατομμύρια χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο από ασθένειες που είναι σχετικές με το νερό, που μπορούν να προληφθούν και εκατοντάδες εκατομμύρια άλλοι υποφέρουν από εξουθενωτικές ασθένειες. Παρά τις τεράστιες επενδύσεις και προσπάθειες, μέχρι το τέλος του εικοστού αιώνα 2,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι (περισσότεροι από ό,τι ζούσαν σε ολόκληρο τον πλανήτη το 1940) δεν είχαν υπηρεσίες υγιεινής του προτύπου που ήταν διαθέσιμες στους περισσότερους πολίτες της αρχαίας Ρώμης (Gleick, 2002). Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, υπολογίζεται ότι ο αριθμός των ανθρώπων που εξακολουθεί να στερείται επαρκές, καθαρό πόσιμο νερό ξεπερνάει το ένα δισεκατομμύριο.

Εννοείται, πως από την οπτική γωνία των πολιτικών, δεν ευθύνεται κανείς για αυτές για την ανθρωπότητα πρωτόγνωρες καταστάσεις. Ορισμένοι παράγοντες που συντελούν στην ύπαρξη και όξυνση του προβλήματος είναι ο περιορισμός των κεφαλαίων που διατίθενται, οι αδύναμες κυβερνήσεις, οι λανθασμένες αναπτυξιακές προσπάθειες και φυσικά η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, στα οποία όμως σπανίως γίνεται αναφορά.

Δύο μονοπάτια βρίσκονται μπροστά μας: ένας «σκληρός δρόμος» που θα βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά σε κεντρική υποδομή για τη σύλληψη, την επεξεργασία και την παράδοση των αποθεμάτων νερού, και ένα «μαλακό μονοπάτι» που θα συμπληρώνει το πρώτο επενδύοντας σε αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις, αποτελεσματικές τεχνολογίες και πολιτικές και ανθρώπινο κεφάλαιο. Βασικός άξονας αυτής της «μαλακής» πορείας θα είναι η προσπάθεια βελτιστοποίησης της συνολικής παραγωγικότητας και όχι η εύρεση νέων πηγών εφοδιασμού, με στόχο την παροχή υπηρεσιών ύδρευσης που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τελικών χρηστών, τόσο σε τοπικό όσο και σε κοινοτικό επίπεδο.

Η παραδοσιακή προσέγγιση σκληρού μονοπατιού έχει αποφέρει, και θα συνεχίσει να παράγει, τεράστια οφέλη, όπως παροχή καθαρού νερού, άρδευση και βελτίωση της ανθρώπινης υγείας. Αλλά όλο και περισσότερο γεννά επίσης οικολογικά επιζήμια, κοινωνικά παρεμβατικά και έντασης κεφαλαίου έργα που αποτυγχάνουν να αποδώσουν τα οφέλη που έχουν υποσχεθεί.

Η «μαλακή» πορεία απαιτεί την συνεργασία όλων των φορέων (κυβερνήσεις, κοινότητες και ιδιωτικές εταιρείες) για την κάλυψη των σχετιζόμενων με το νερό αναγκών, και όχι απλώς για την παροχή του. Η παραγωγική χρήση του νερού μπορεί να βελτιωθεί με την ορθολογική εφαρμογή της τεχνολογίας και της οικονομίας και με τη λήψη αποφάσεων στη σωστή κλίμακα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η υγεία και η υγιεινή γενικότερα ως παράμετροι θα πρέπει να θεωρούνται θεμελιώδη στοιχεία της πολιτικής για το νερό, σε αντιδιαστολή με την κυρίαρχη αντίληψη της πλειοψηφίας αυτών που είναι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής, ότι τα μεγάλης έκτασης, κεντρικά συστήματα ύδρευσης αποτελούν την μοναδική διέξοδο για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης και ότι αυτή η ζήτηση είναι αναπόφευκτη, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ).

Βέβαια, η επίδραση της οικονομικής ανάπτυξης στην ζήτηση του νερού δεν είναι μονοσήμαντη. Μελετώντας την σχετική πορεία των ΗΠΑ, από το έτος 1900 έως τα μέσα της δεκαετίας του έτους 1990, το ΑΕΠ των Ηνωμένων Πολιτειών αυξήθηκε κατά 20 φορές. Στο διάστημα μεταξύ 1900 και 1980 παρατηρήθηκε αύξηση των συνολικών απολήψιμων ποσοτήτων νερού κατά δέκα φορές. Όμως στην πορεία ακολούθησαν πτωτική πορεία. Συγκεκριμένα οι κατά κεφαλήν αποσύρσεις υδρομετρητών, το 1995 κατέγραψαν μείωση της τάξης του 20% σε σύγκριση μ' αυτές του 1975. Πανομοιότυπο μοτίβο έχει παρατηρηθεί και σ' άλλες βιομηχανικές χώρες. Επίσης κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες έχουν αποσυνδέσει τη χρήση του νερού από την πληθυσμιακή και οικονομική αύξηση (Gleick, 2002).

Οι συντελεστές που συμβάλλουν σ' αυτήν την αποσύνδεση είναι δύο. Ο πρώτος αφορά σε μια ευρεία βελτίωση στην παραγωγική χρήση του νερού, τακτική που αποσκοπεί στην λογική της βελτίωσης της ικανότητάς μας, να παρέχουμε τα αγαθά και τις υπηρεσίες που θέλουμε, με λιγότερο νερό. Ο δεύτερος συντελεστής αφορά σε μια μετατόπιση από τις βιομηχανίες έντασης νερού. Μπορεί να επιτευχθεί περαιτέρω βελτίωση της αποδοτικότητα της χρήσης του νερού μέσω τεχνολογικών καινοτομιών, νέων πολιτικών και απλών βελτιώσεων στις λειτουργίες. Στις δεκαετίες του 1930 και του 1940, για παράδειγμα, η παραγωγή χάλυβα κατανάλωνε συνήθως έως και 200 – 300 τόνους νερού ανά τόνο χάλυβα. Σήμερα απαιτούνται μόνο 3-4 τόνοι νερού για να γίνει η ίδια δουλειά στις πιο αποδοτικές εγκαταστάσεις. Πολλές οικονομίες έχουν μετατοπίσει την παραγωγή μακριά από βιομηχανίες έντασης νερού, όπως η παραγωγή χάλυβα ή η χημική βιομηχανία, σε βιομηχανίες όπως η παροχή υπηρεσιών, η πληροφορική και οι τηλεπικοινωνίες. Αυτό τροφοδότησε μια περαιτέρω απόκλιση μεταξύ της οικονομικής παραγωγής και της χρήσης του νερού. Το Χονγκ Κονγκ και η Καλιφόρνια, για παράδειγμα, είχαν καταφέρει να διπλασιάσουν την οικονομική τους παραγωγικότητα ανά μονάδα χρήσης νερού στο παρελθόν (Gleick, 2002).

Αν λάβουμε υπόψιν ότι περισσότερο από το εβδομήντα τις εκατό των απολήψεων χρησιμοποιείται στην άρδευση, καθίσταται ύψιστης σημασίας η ορθολογική διαχείριση του νερού στην γεωργική παραγωγή. Οι ορθολογικές τεχνολογίες άρδευσης μπορούν να οδηγήσουν στον περιορισμό της παροχής του νερού, με ταυτόχρονη όμως αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας. Ορισμένες τέτοιες πρακτικές που μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και στον διπλασιασμό της παραγωγικότητας μιας καλλιέργειας ανά μονάδα νερού είναι η ισοπέδωση χωραφιών με λέιζερ, η παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους και η άρδευση ακρίβειας. Η μετάβαση από τη συμβατική επιφανειακή άρδευση στην άρδευση με σταγόνες σε όλο τον κόσμο έχει αυξήσει τη συνολική παραγωγικότητα του νερού κατά 45–255% για καλλιέργειες τόσο διαφορετικές όπως η μπανάνα, βαμβάκι, ζαχαροκάλαμο και γλυκοπατάτα. Δυστυχώς, όμως έχει προσδιοριστεί ότι σε παγκόσμιο επίπεδο, τα συστήματα ακρίβειας χρησιμοποιούνται μόνο στο ένα τοις εκατό των συνολικών αρδευόμενων εκτάσεων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οι εναλλακτικές μέθοδοι ήπιας διαδρομής συνεχίζουν να παρουσιάζουν αρκετές αβεβαιότητες που αφορούν τις πρακτικές, φυσικές και οικονομικές δυνατότητές τους. Βέβαια οι αβεβαιότητες αυτές είναι εφικτό να εξαλειφθούν με σωστή εφαρμογή οικονομικών επιστημών, κανονισμών και προτύπων, όπως επίσης και με εστίαση στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Είναι δεδομένο ότι δεν είναι εύκολο να υιοθετηθεί το «μαλακό» μονοπάτι. Θα απαιτηθούν θεσμικές αλλαγές, νέα διαχειριστικά εργαλεία και δεξιότητες, και μεγαλύτερη εξάρτηση από ενέργειες πολλών μεμονωμένων χρηστών νερού παρά λίγων μηχανικών.

Είναι εμφανές ότι έχει καθυστερήσει η υιοθέτηση ενός νέου τρόπου σκέψης αξιοποίησης των λιγοστών υδατικών πόρων, αν ληφθεί υπόψιν ότι από το σκληρό μονοπάτι προκύπτει αυξημένο κόστος για την κοινωνία.

Στα παραπάνω πλαίσια, που άπτονται της ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων εκπονείται και η παρούσα διδακτορική εργασία η οποία έχει ως στόχο και σκοπό να αναδείξει στους διαχειριστές και επιστήμονες του πόσιμου νερού τους τρεις άξονες μελέτης του. Ενώ έως τώρα κύριο μέλημα ήταν η εξασφάλιση της ποσότητας, πλέον θα πρέπει όλοι να μελετούν το νερό τρισδιάστατα και να δρουν με βάση την ποσότητα, το αντίκρισμά της στην ποιότητα και την ενέργεια. Οι υψηλές απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής με τους φυσικούς πόρους να εξαντλούνται και το κόστος δέσμευσής τους να εκτοξεύεται, δεν επιτρέπει στον άνθρωπο να κάνει αλόγιστη χρήση, μία τακτική που θα μπορούσε να οδηγήσει μία κοινωνία στην αυτοκαταστροφή.

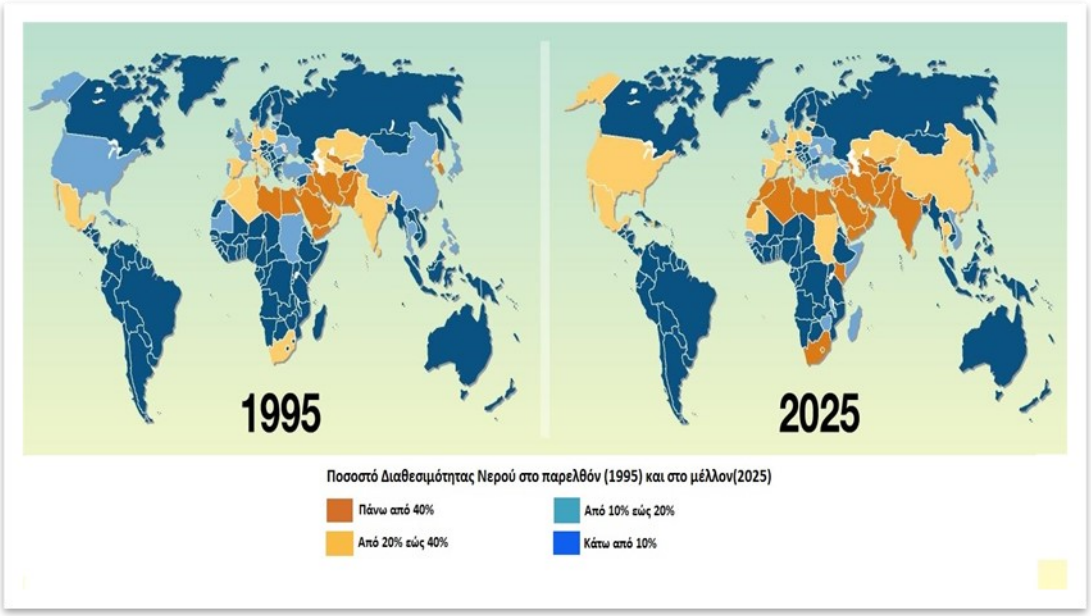
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η Αξία Του Νερού Σε Παγκόσμιο Επίπεδο

2.1. Το νερό: πολύτιμο συστατικό της ανθρώπινης ζωής σε έλλειψη

Στην καθημερινότητα του ανθρώπου, το νερό αποτελεί την πιο σημαντική ανάγκη αφού ταυτίζεται με την ύπαρξη και τη διατήρηση ζωής στη γη. Ακόμη, αλλάζει ανάλογα την υγεία και τη συμπεριφορά των πολιτών, σύμφωνα την ποσότητα και την ποιότητά του, ενώ αποτελεί βασικό παράγοντα περιφερειακής και κρατικής βιομηχανικής και γενικότερης οικονομικής ανάπτυξης. Δυστυχώς, όμως, στη σύγχρονη κοινωνία, η αυξανόμενη ζήτηση και η υποβάθμιση των υδάτινων πόρων συνδυάζονται είτε σε έλλειψη νερού κάθε είδους είτε σε μερική ή ολική υποβάθμιση των οικοσυστημάτων.

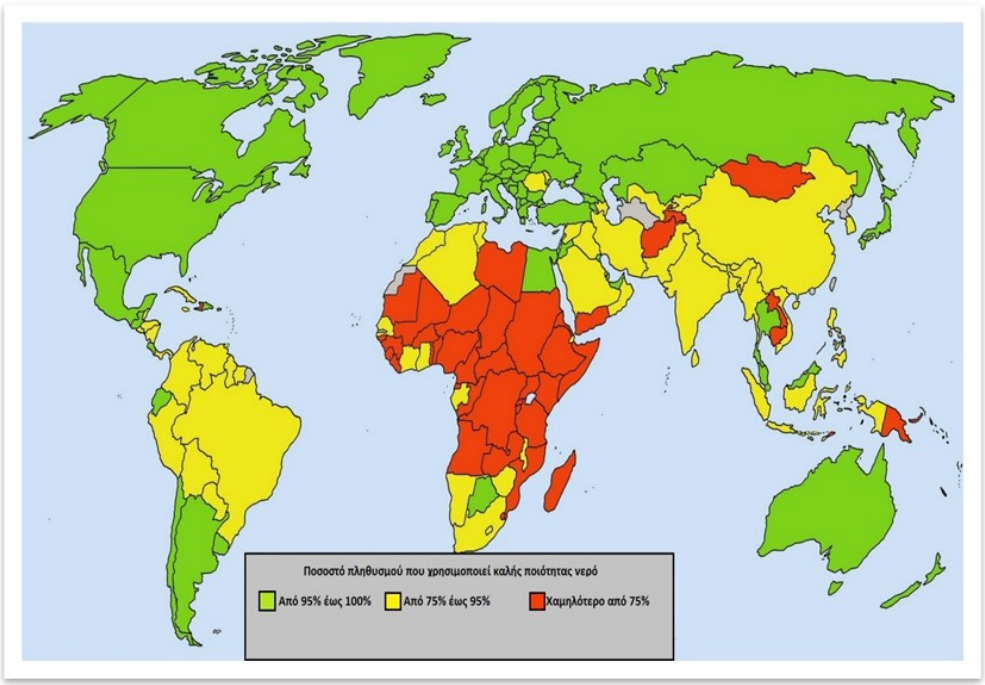
Η κλιματική αλλαγή έχει επιδεινώσει το πρόβλημα, με τις πλημμύρες και τις παρατεταμένες ξηρασίες να εμφανίζονται συχνότερα. Επομένως, παρά το γεγονός ότι οι υδατικοί πόροι είναι ανανεώσιμοι, η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων ποικίλλει ευρέως σε διάφορα μέρη του πλανήτη. (Εικόνα 1)



Εικόνα 1 Χάρτης Διαθεσιμότητας νερού (World Water Assessment Program, 2009)

Στα παραπάνω πλαίσια, και δεδομένης της κλιματικής κρίσης που προαναφέρθηκε, στο σύνολο του παγκόσμιου πληθυσμού καταγράφονται ανησυχίες για το αν τελικά το χρήσιμο αυτό αγαθό είναι και θα συνεχίσει να είναι επαρκές και αν αυτή η επάρκεια συνοδεύεται από την απαραίτητη ποιότητα, η οποία τίθεται ως ζητούμενο. Τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υδάτων επιδρούν στη διαμόρφωση της σύστασης της ποιότητας του νερού, για τα οποία θα αναφερθούμε σε μεταγενέστερο στάδιο της παρούσας εργασίας. Στην Εικόνα 2, που ακολουθεί, σηματοδοτούνται με διαφορετικά χρώματα τα ποσοστά του πληθυσμού που καταναλώνουν καλής ποιότητας νερό στον κόσμο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 2 Αποτύπωση του ποσοστού του πληθυσμού που χρησιμοποιεί καλής ποιότητας νερό (Environmental Systems Research Institute,2004)

Οι περιορισμοί και η σημασία του νερού που προέκυψαν οδήγησαν σταδιακά στη συνειδητοποίηση της άμεσης δράσης και τελικά σε ένα ευρύτερο νομοθετικό ή μη πλαίσιο, για την σωστή χρήση των συστημάτων νερού και την προστασία τους. Ένα από τα πιο βασικά μέτρα είναι η διαχείριση και ο περιορισμός της απώλειας νερού στο δίκτυο ύδρευσης και διανομής.

Η απώλεια νερού στα συστήματα ύδρευσης εκτιμάται ότι είναι 30 έως 40 τοις εκατό του συνολικού εισερχόμενου νερού σε αυτά ενώ σε άλλες περιπτώσεις είναι 50 έως 60 τοις εκατό. Ωστόσο, οι περισσότερες επιχειρήσεις ύδρευσης είναι απρόθυμες να καθιερώσουν στρατηγικές ανίχνευσης διαρροών και άμεσης επισκευής, αντί να επιμένουν στην επισκευή διαρροών στην επιφάνεια του εδάφους που το κοινό παρατηρεί (παθητικός έλεγχος διαρροών).

Αυτό προκύπτει από την ύπαρξη μεγάλου αριθμού πόρων χαμηλού κόστους για την αντιστάθμιση των προβλημάτων που ενδέχεται να δημιουργήσουν οι απώλειες στο σύστημα και από το γεγονός ότι δεν αυξάνονται απαραίτητα οι χρεώσεις κατά τη διαδικασία εύρεσης και αποκατάστασης των ζημιών. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι ότι η μέθοδος αυτή, που υπολογίζει το κόστος του νερού είναι ξεπερασμένη, καθώς επικεντρώνεται κυρίως μόνο στο άμεσο κόστος παρά στο κόστος ευκαιρίας των υδατικών πόρων ή στο περιβαλλοντικό κόστος. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις το να αυξηθεί η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού αποτελεί πιο οικονομικό και αποδοτικό σενάριο από την συλλογή και μεταφορά μεγάλων όγκων νερού από γειτονικές περιοχές.

Η περιγραφόμενη κατάσταση και τα συμπεράσματα που εξάγονται έχουν ως αποτέλεσμα την είσοδο νέων μεθόδων και δεδομένων στη διαχείριση των απαιτήσεων, εστιάζοντας στην αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του πόσιμου ύδατος (με την τοποθέτηση κατάλληλου εξοπλισμού και του περιορισμού απωλειών). Λαμβάνοντας υπόψιν το συνεχώς αυξανόμενο κόστος άντλησης, μεταφοράς και επεξεργασίας, η διαχείριση είναι μονόδρομος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

2.2. Οικονομική διάσταση του νερού

Υπάρχει μια ποικιλία ορισμών για το μπλε και το πράσινο νερό αντίστοιχα (Sood et. al., 2014). Ο αρχικός ορισμός του Falkemark είναι ότι οι εισερχόμενες βροχοπτώσεις χωρίζονται σε κατακόρυφη ροή και οριζόντια ροή που οδηγεί σε υδροφόρους ορίζοντες και ποτάμια που αποτελούν το «γαλάζιο νερό», ενώ το «πράσινο νερό» είναι το νερό στη ζώνη ρίζας, το τμήμα της ανώτερης ζώνης που παίζει σημαντικό ρόλο στον διαχωρισμό βροχής και νερού άρδευσης, σε εξάτμιση, διαπνοή, απορροή και βαθιά αποστράγγιση (Lazarovitch et. al., 2018) που είναι η πηγή της θρέψης των φυτών (Falkenmark, 1995). Μεταγενέστερα δόθηκε από άποψη παροχής πόρων ένας, πιο ακριβής ορισμός: το μπλε νερό αφορά το νερό που εντοπίζεται σε υδροφόρους ορίζοντες, λίμνες και φράγματα, ενώ το πράσινο νερό αφορά την υγρασία του εδάφους. Αυτά σχετίζονται με τη ροή υγρού μπλε νερού μέσω ποταμών και υδροφορέων και την πράσινη ροή υδρατμών πίσω στην ατμόσφαιρα (Falkenmark, & Rockström, 2006). Το πράσινο νερό χωρίζεται σε δύο μέρη, ένα μέρος αποθηκεύεται στο έδαφος ως υγρασία και το άλλο τίθεται σε κίνηση μέσω της διαδικασίας εξατμισοδιαπνοής (Mohtar et. al., 2015; Wu, 2008).

2.2.1. Το νερό ως οικονομικό αγαθό σε παγκόσμια κλίμακα

Το νερό έπρεπε να κηρυχθεί οικονομικό αγαθό μέσω του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) και μέσω των Αρχών του Δουβλίνου για το νερό. Ο ΟΟΣΑ όρισε, λοιπόν, το νερό ως «οικονομικό αγαθό» λόγω του γεγονότος ότι έπρεπε να χρησιμοποιηθούν (στενοί) οικονομικοί πόροι (ανθρώπινοι, κεφάλαιο, γνώση) προκειμένου να διατεθεί το νερό στη μορφή, την ποιότητα, την τοποθεσία και το χρόνο που χρειάζονται οι χρήστες (OECD, 1987).

Οι Αρχές του Δουβλίνου για το νερό (Πρώτη και Τέταρτη Αρχή) αναφέρουν ότι (ICWE, 1992, p. 55):

«Το νερό είναι ένας πεπερασμένος, ευάλωτος και ουσιαστικός πόρος που πρέπει να υπόκειται διαχείρισης με ολοκληρωμένο τρόπο».

«Το νερό έχει οικονομική αξία και θα πρέπει να αναγνωρίζεται ως οικονομικό αγαθό, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια προσιτότητας και δικαιοσύνης».

Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Αναπτυξιακή Ατζέντα 21, στο Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας, όρισε το νερό ως «ως αναπόσπαστο μέρος του οικοσυστήματος, ως φυσικό πόρο και κοινωνικό και οικονομικό αγαθό . . . ” (United Nations, 1992, p. 196–225).

Πρέπει να επισημανθεί ότι το νερό ικανοποιεί προφανώς τον ορισμό του Robbins (1932) για ένα οικονομικό αγαθό, στο πλαίσιο «της επιστήμης που μελετά την ανθρώπινη συμπεριφορά ως σχέση μεταξύ σκοπών και σπάνιων μέσων που έχουν εναλλακτικές χρήσεις» (Winpenny, 1994; Perry et. al., 1997).

Σημειώνεται όμως, ότι βασική παράμετρος για την αξιολόγηση ενός οικονομικού αγαθού αποτελεί η σπανιότητά του. Η σχετική έλλειψη από την άποψη της νεοκλασικής περιβαλλοντικής οικονομίας νερού και των πόρων, που πρώτη φορά διερευνήθηκε από τον Faber και τους συνεργάτες του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

(1994), ορίζεται ως προς την ποσότητα σε σχέση με τους διαθέσιμους υδάτινους πόρους όπως όταν «ένα αγαθό είναι σπάνιο σε σχέση με άλλα σπάνια αγαθά» (Baumgärtner et. al., 2006).

Ως εκ τούτου, η απόλυτη λειψυδρία αντιστοιχεί σε καθαρά οικολογική οικονομία (Sahu et. al., 1994) σε ορισμένα περιφερειακά επίπεδα όπου το νερό εξαρτάται από το ευκαιριακό κόστος εύρεσής του. Το συγκεκριμένο αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο του μοντέλου Debreu (1971). Δηλαδή, τα οφέλη που χάνονται από πιθανές εναλλακτικές χρήσεις του νερού (Turner et. al., 2004) ή πρόσθετο χρηματικό κόστος για μια επιπλέον μονάδα του αγαθού, δεδομένης της σπανιότητας σε ορισμένες ρυθμίσεις και της αφθονίας σε άλλες. Θα πρέπει να σημειώσουμε, ωστόσο στο σημείο αυτό πως η παγκόσμια παροχή νερού είναι σταθερή ενώ η διαθεσιμότητα και η διανομή του είναι άνιση (Zisopoulou & Panagoulia, 2021).

Δεδομένου ότι είναι ένα οικονομικό αγαθό, το νερό έχει τον χαρακτήρα ευκαιρίας όσον αφορά μια «πορεία δράσης που είναι δυνατή και αξίζει να επιδιωχθεί» (De Bono, 1978) ή μια «ευκαιρία να καλύψει μια ανικανοποίητη ανάγκη που είναι δυνητικά κερδοφόρα» (Hulbert et. al., 1997) περισσότερα ή λιγότερο σε ομοιότητα με μη επεξεργασμένα κοιτάσματα καυσίμου (Zisopoulou & Panagoulia, 2019).

Σε παγκόσμια κλίμακα, στον αιώνα που διανύουμε, ο υδρολογικός κύκλος παρουσιάζει εξασθένηση, με το υδατικό ισοζύγιο στη στεριά και στη θάλασσα να είναι πιο χαμηλά. Η βασική ανθρωπογενής επίδραση αφορά την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, που σε παράκτιες περιοχές έχει συντελέσει στην κάθοδο της στάθμης του υδροφορέα και της εισόδου σε αυτόν της θάλασσας (Koutsoyiannis, 2020).

2.2.2. Το νερό ως ανάγκη, δημόσιο αγαθό και κοινωνικό αγαθό

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την έννοια της ανάγκης είναι: «πρώτον, η αποτυχία ικανοποίησης της ανάγκης ενός ατόμου είναι επιζήμια γι' αυτό· δεύτερον, υπό το πρίσμα της βλάβης που μπορεί να προκληθεί, η ικανοποίηση της ανάγκης καθίσταται επιτακτική,· τρίτον, με βάση τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά, η ανάγκη δεν μπορεί να περιοριστεί στην έννοια της επιθυμίας (στην καθαρά υποκειμενική σύγχρονη σημασιολογία της)» (Yamamori, 2016).

Ο Άνταμ Σμιθ υποστήριξε την έννοια της αναγκαιότητας στο «Αναγκαστικά καταλαβαίνω, όχι μόνο τα εμπορεύματα που είναι απολύτως απαραίτητα για τη στήριξη της ζωής, αλλά ό,τι το έθιμο της χώρας το καθιστά απρεπές για αξιόπιστους ανθρώπους, ακόμη και της κατώτερης τάξης. χωρίς» (Smith, 1776, Βιβλίο V, Κεφ. II, σημ. II, άρθρ. IV). Όπως επισημαίνει ο Winpenny «Υπάρχουν βαθμοί σπανιότητας», μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η «ανάγκη», το κατώτερο όριο του εύρους ζώνης σπανιότητας, το οποίο έχει διπλή ερμηνεία, αυτό της πραγματικής φυσικής ανάγκης, που αντιπροσωπεύει το κλείσιμο του χάσματος μεταξύ «αυτό που είναι » και «τι θα έπρεπε να είναι» από αντικειμενική άποψη και εκείνη της «υποτιθέμενης ανάγκης» που βασίζεται στις υποκειμενικές απόψεις των ανθρώπων και στις αντιληπτές τάσεις και προοπτικές» (Leagans, 1964).

Πιο στοχευμένος είναι ο ορισμός της ανάγκης από τον Beatty (1981) ως «η μετρήσιμη απόκλιση που υπάρχει μεταξύ μιας παρούσας κατάστασης πραγμάτων και μιας επιθυμητής κατάστασης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

πραγμάτων όπως επιβεβαιώνεται είτε από έναν «ιδιοκτήτη» της ανάγκης («κινητήρια ανάγκη») είτε από μια «αυθεντία» σε περίπτωση ανάγκης («προδιαγραφική ανάγκη).

Όσον αφορά στους καταναλωτές, κατά τον Samuelson (1955) προκύπτει διάκριση μεταξύ των πραγματικών επιθυμιών των ανθρώπων και των αναγκών τους, ενώ αξίζει να η οικονομική θεωρία του Thaler (1980) για τον καταναλωτή και στη θέση του σχετικά με την αντίληψη της μεγιστοποίησης της καταναλωτικής χρησιμότητας (Kahneman et. al., 2006). Αλλά τότε η «ανάγκη» για τον άνθρωπο, τους τελικούς χρήστες του νερού, απαιτεί να καθοριστεί η κατά κεφαλήν ποσοτικοποίηση της χρήσης, σε βραχυπρόθεσμη βάση, μεσοπρόθεσμη βάση και μακροπρόθεσμη βάση, όπου περιλαμβάνεται η παραγωγή καλλιεργειών καθώς και σε περίπτωση καταστροφών (Hussien et. al., 2016; De Buck, et. al., 2015). Οι Gleick et al. (1996) συνιστούν 50 λίτρα/κάτοικο/ημέρα, αλλά υπάρχουν και μελέτες όπου το ελάχιστο για επιβίωση είναι 1,8–5,0 λίτρα/κάτοικο/ημέρα.

Έτσι, καθώς το νερό καταναλώνεται από τον καθένα τόσο άμεσα όσο και έμμεσα, μέσω της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, είναι μια αναγκαιότητα, ίσως το μεγαλύτερο εύρος και σε μεγαλύτερη κλίμακα από οποιοδήποτε άλλο αγαθό (Varian, 1992). Πέρα από την έννοια της «ανάγκης», όπως φαίνεται παραπάνω, υπάρχει ένας άλλος αντίκτυπος: μια μορφή οικονομικής πτυχής όσον αφορά τη διατήρηση ή την ενίσχυση μιας συγκεκριμένης τομεακής οικονομίας. Αυτό αντανακλάται σε 2 εκφάνσεις:

1. Σε παγκόσμια κλίμακα, το νερό είναι εξίσου σημαντικό για βιομηχανία και τη γεωργία. Η χρήση του, η οποία μετριέται με βάση το αποτύπωμά του στη βιομηχανία και στην γεωργία, αντιπροσωπεύει επιπλέον ένα σημαντικό τμήμα της παγκόσμιας υλικής οικονομίας ως προς το κεφάλαιο, τις εγκαταστάσεις και τη νομισματική ροή, καθώς και από άποψη εργασίας. Πιθανή μείωση των παραπάνω τομέων θα προκαλέσει σημαντικά αρνητικό αντίκτυπο στην παγκόσμια οικονομία. Επιπρόσθετα, ο ανταγωνισμός μεταξύ βιομηχανικού και γεωργικού κλάδου που οριοθετείται από την διαθέσιμη ποσότητα του νερού, θα προκαλέσει κλυδωνισμούς στην παγκόσμια οικονομία. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι στόχοι του Ο.Η.Ε για την καταπολέμηση της πείνας το 2030 δεν θα επιτευχθούν (U.N, 2019) οι αγροτικές ανάγκες θα τροφοδοτηθούν και η αύξηση του πληθυσμού και της ευημερίας που προβλέπεται από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO, 2012) θα τροφοδοτήσει τις ανάγκες τόσο της γεωργίας όσο και της βιομηχανίας.

2. Σε εθνικό επίπεδο, τόσο λόγω της άνισης διαθεσιμότητας και κατανομής των υδατικών πόρων όσο και της αύξησης του πληθυσμού παρουσιάζεται επιδείνωση της κατάστασης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Υποσαχάρια Αφρική, όπου η διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων είναι περιορισμένη, η αύξηση του πληθυσμού είναι σημαντική και η ευημερία χαμηλή (Malmberg, 2008). Επιπλέον, το ότι είναι αγαθό ανάγκης το διαποτίζει με διαφορετικά χαρακτηριστικά από ένα ιδιωτικό οικονομικό αγαθό, που προέρχεται από αυτά των δημόσιων και κοινωνικών αγαθών.

Το νερό ως αγαθό συνοδεύεται από την έννοια της «αδυναμίας απόρριψης του», αυτό σημαίνει ότι έχει πτυχές δημόσιου αγαθού (Scott, 2014) το οποίο ορίζεται ως μη ανταγωνιστικό (τα οφέλη είναι αδιαίρετα) και μη εξαιρετέο (συγκεκριμένα πρόσωπα δεν μπορούν να εξαιρεθούν από τις παροχές) (Mishan, 1981).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η παραπάνω άποψη ενισχύεται από το γεγονός ότι χρηματοδότηση των έργων υποδομής που αφορούν την ύδρευση πραγματοποιείται από το κράτος και η πληρωμή τους μεταβιβάζεται σ' όλους τους καταναλωτές - που ουσιαστικά αφορά τον συνολικό πληθυσμό που φορολογείται είτε με άμεσο είτε έμμεσο τρόπο - μέσω φορολογίας, είτε ειδικής είτε γενικά (Samuelson, 1954).

Για να είμαστε πιο ακριβείς, το νερό του υδροφόρου ορίζοντα είναι μη αποκλειστικό και ανταγωνιστικό, και ως εκ τούτου ένα κοινό αγαθό μακροπρόθεσμα (Aylward, 2016; White, 2015), το οποίο διακρίνεται εν μέρει από ένα δημόσιο αγαθό όσον αφορά το κοινωνικό παιχνίδι, ενώ το κοινόχρηστο νερό άρδευσης είναι αποκλειστικό και μη ανταγωνιστικό και, ως εκ τούτου, είναι καλό την αγροτική κοινότητα (Apesteguia & Maier-Rigaud, 2006).

Και τα δύο μπορούν να ταξινομηθούν ως ακαθάριστα δημόσια αγαθά (Black et. al., 2009). Τροποποιώντας μια έννοια του δείκτη βελτιστότητας λόγω του Sandler (2003) όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αγαθών που παρέχονται από την κοινότητα (σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των δημόσιων αγαθών), τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος υποπρομήθειας. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τη θεωρία του διευρυμένου δημόσιου αγαθού των Kaul και Mendoza (2003) το νερό έχει μια ειδική δυνατότητα να είναι δημόσιο αγαθό και, καθώς είναι αγαθό με οφέλη που εκτείνονται σε όλες τις χώρες, τους ανθρώπους και τις γενιές, έχει μια ειδική δυνατότητα να είναι ένα παγκόσμιο δημόσιο αγαθό.

Θα μπορούσαμε να πούμε, ότι το κοινωνικό αγαθό «αναφέρεται σε υπηρεσίες ή προϊόντα που προάγουν την ανθρώπινη ευημερία σε μεγάλη κλίμακα» (Mor Barak, 2020). Σαφώς, το νερό θεωρείται κοινωνικό αγαθό. Η περίπτωση του νερού μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις της τρέχουσας και μελλοντικής μετοχής, δηλαδή, ποιος παίρνει νερό και το γεγονός ότι το νερό έχει υψηλότερη αξία από τη νομισματική του αξία (Day, 1996).

Όπως υπογραμμίζεται στην περίπτωση της συνεταιριστικής τεχνολογίας (Loehman & Dinar, 1992) ο βασικός σκοπός της κατανομής των πόρων είναι η επίτευξη κοινωνικής και τεχνικής αποτελεσματικότητας (Bohm, 1987) η οποία συνήθως ορίζεται ως η βέλτιστη Pareto, αλλά εξαρτάται επίσης από έναν «δείκτη ανθρώπινης ανάπτυξης» (Sukharev, 2012).

Τα συστήματα κατανομής πόρων που αποδίδουν αυτό το αποτέλεσμα σχεδιάστηκαν αρχικά από τον Hurwicz (1987) και βασίζονται στη συμβατότητα κινήτρων, τον ατομικό ορθολογισμό, την αποκέντρωση πληροφοριών (για την ελαχιστοποίηση του κοινωνικού κόστους συλλογής πληροφοριών), τη μη σπατάλη (επίτευξη των συνόρων παραγωγής) και την αμερόληπτη (επίτευξη του Pareto ως βέλτιστη επιλογή με ανακατανομή εισοδήματος μέσω εφάπαξ συμπληρωμάτων που πρέπει να υπερνικήσουν τους εισοδηματικούς περιορισμούς ώστε να καταστεί δυνατή η πληρωμή του κοινωνικού κόστους).

Οι κανόνες στην υπολογιστική διαδικασία του υδατικού αποτυπώματος, όπως και των δεικτών του οικολογικού αποτυπώματος και του αποτυπώματος άνθρακα είναι ασαφείς και όχι αυστηρά οριοθετημένοι. Οι υπολογισμοί μπορούν να είναι επιφανειακοί και χονδρικοί ή αναλυτικοί και χρονοβόροι. Η αλυσίδα παραγωγής είναι περίπλοκη και αποτελείται από αμέτρητα παρακλάδια που η συμβολή τους στην κατανάλωση νερού κρίνεται σημαντική ή ασήμαντη από την κρίση του μελετητή.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η μόνη οδηγία που ακολουθείται στην λογιστική του υδατικού αποτυπώματος είναι: συμπεριλαμβάνεται στο συνολικό υδατικό αποτύπωμα ενός συστήματος παραγωγής, το αποτύπωμα όλων των διαδικασιών που συμβάλλουν «σημαντικά» σε αυτό. Ωστόσο, ο μοναδικός κανόνας με σαφήνεια είναι ταυτόχρονα αρκετά ασαφής. Ο κάθε μελετητής κρίνει την ποσότητα νερού που θεωρεί «σημαντική» στους υπολογισμούς του (Hoekstra & Chapagain 2011).

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού είναι εκτενείς και χρησιμοποιούν ποικιλία εισροών οι οποίες εναλλάσσονται σε κάθε βήμα εξέλιξης της αλυσίδας. Στην πράξη όμως, είναι συγκεκριμένα τα βήματα αυτά που διαμορφώνουν το συνολικό υδατικό αποτύπωμα του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, όταν ένα προϊόν περιέχει συστατικά τα οποία προέρχονται από το γεωργικό τομέα, τα συστατικά αυτά αποτελούν μεγάλο μερίδιο του αποτυπώματος του. Αυτό συμβαίνει επειδή εκτιμάται ότι το 86 τοις εκατό του αποτυπώματος νερού της ανθρωπότητας βρίσκεται στη γεωργία (Hoekstra and Chapagain, 2008). Στην περίπτωση των βιομηχανικών συστατικών στα προϊόντα, η συμβολή τους είναι σημαντική όταν συνδέονται με τη ρύπανση των υδάτων, όταν έχουν δηλαδή γκρι υδατικό αποτύπωμα.

Η μεταφορά των προϊόντων συνήθως δεν συμπεριλαμβάνεται στο υδατικό τους αποτύπωμα καθώς είναι μία διαδικασία που δεν καταναλώνει σημαντική ποσότητα γλυκού νερού και συνδέεται κυρίως με το αποτύπωμα άνθρακα. Σε ορισμένες περιπτώσεις που οι μεταφορές καταναλώνουν βιοκαύσιμα η υδροηλεκτρική ενέργεια τότε συνιστάται ο συνυπολογισμός του γλυκού νερού στο τελικό υδατικό αποτύπωμα. （Gerbens-Leenes et al, 2009a, b; Yang et al, 2009; Dominguez-Faus et al, 2009).

Τέλος, έχει τεθεί ο προβληματισμός εάν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ανθρώπινη εργασία η οποία είναι αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγής. Θεωρητικά, οι εργαζόμενοι είναι συντελεστής εισόδου που απαιτεί πόσιμο νερό, τρόφιμα, ένδυση και το συνολικό αυτό γλυκό νερό αποτελεί έμμεσο υδατικό αποτύπωμα του τελικού προϊόντος. Ο λόγος που το νερό αυτό δεν συνυπολογίζεται στο τελικό υδατικό αποτύπωμα έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι εργαζόμενοι είναι παράλληλα και οι τελικοί καταναλωτές. Η εργασία αποκλείεται από τους παράγοντες που διαμορφώνουν το υδατικό αποτύπωμα καθώς η χρήση της θα οδηγούσε στη δημιουργία ενός ατελείωτου βρόχου καταμέτρησης (Hoekstra & Chapagain 2011).

2.2.3. Το νερό ως οικονομικό αγαθό σε επίπεδο χώρας

Η διαθεσιμότητα νερού, όσον αφορά το μπλε νερό και τις κατακρημνίσεις, το κατά κεφαλήν εισόδημα, τη δομή της εθνικής παραγωγής, τις συναλλαγματικές ισοτιμίες, τα διεθνή δάνεια και τα εξωτερικά ισοζύγια επηρεάζουν τη φύση του νερού ως οικονομικού αγαθού σε εθνικό επίπεδο. Επιπλέον, ενώ η συνολική εικόνα του παγκόσμιου υδρολογικού κύκλου οδηγεί σε μια μορφή ισορροπίας, υπάρχουν υδρολογικοί κύκλοι σε επίπεδο χώρας και διαφέρουν έντονα από χώρα σε χώρα (FAO, 2000).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

1. Σε χώρες με χαμηλή ή τοπικά ανεπανόρθωτα άνιση περιφερειακή διαθεσιμότητα νερού, το δημόσιο και κοινωνικό αγαθό του νερού θα καταστεί κυρίαρχο καθώς ο ρόλος του αυξάνεται. Η μόνη υπαρκτή λύση είναι η κεντρική κρατική πολιτική ύδατος, καθώς οι απαιτούμενες υποδομές ύδατος είναι σίγουρο ότι θα είναι μεγάλες και επομένως, απαιτούνται κρατικοί πόροι και τεχνογνωσία. Η διανομή της δε είναι βέλτιστη μόνο σε επίπεδο χώρας, πράγμα που σηματοδοτεί αυξημένο κρατικό έλεγχο στην παροχή του. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι χώρες της Κοινότητας Ανάπτυξης της Νότιας Αφρικής (SADC), όπου ο Δείκτης Ανθρώπινης Ανάπτυξης (HDI) μεταξύ 177 χωρών κυμαίνεται από 121 έως 168, οι κατά κεφαλήν απολήψεις γλυκού νερού ετησίως είναι όλες κάτω από τα 1000 m^3/έτος και η διανομή του νερού ευνοεί τη γεωργία (Loehman et. al., 1992). Η εγχώρια κατανάλωση έρχεται δεύτερη, επισκιάζοντας τη βιομηχανική χρήση στις περισσότερες από αυτές τις χώρες. Η κύρια αιτία θεωρείται ότι είναι η ανισότητα στην τομεακή κατανομή του νερού, ενώ η χρηματοδότηση υποδομών ύδρευσης στη Νότια Αφρική προέρχεται από την κυβέρνηση (Bohm, 1987; Sukharev, 2012).

2. Το νερό επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την εθνική κοινωνική ευημερία όσον αφορά την καταπολέμηση της φτώχειας, την απασχόληση και την επισιτιστική ασφάλεια (Rogers et. al., 1998) όπως φαίνεται σε μια μελέτη σχετικά με τις χώρες της Μέσης Ανατολής (Hussein, 2011). Ωστόσο, η κοινωνική πολιτική θα πρέπει να θεωρείται ως μια κρατική παρέμβαση που «λειτουργεί παράλληλα με την οικονομική πολιτική για την επιδίωξη εθνικών κοινωνικών και οικονομικών στόχων» (UNRISD, 2005) και η οποία θέτει περιορισμούς στο επίπεδο και τις μεθόδους μετριασμού των μέτρων σχετικά με την πολιτική νερού μιας χώρας τόσο σε γενικό και σε εσωτερικό περιφερειακό επίπεδο καθώς, π.χ., οι βασικές ανάγκες, το δημόσιο χρέος και η οικονομική ανάπτυξη είναι αλληλένδετα (Perlo-Freeman et. al., 2009). Οι επιπτώσεις αυτής της κοινωνικής πολιτικής περιλαμβάνουν τη σταθεροποίηση των τιμών της αγροτικής γεωργίας μέσω κρατικής παρέμβασης (Chang, 2009).

3. Οι χώρες που είναι πλούσιες σε διαθέσιμο νερό έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα τύπου Ricardo στο διεθνές εμπόριο αγαθών με μεσαίο/μεγάλο αποτύπωμα νερού έναντι χωρών που δεν είναι, σύμφωνα με το μοντέλο Heckser–Ohlin (H–O) (Leamer, 1995). Αυτό οδηγεί σε έναν βαθμό εξειδίκευσης σε αυτά τα αγαθά στο πλαίσιο της διανομής παραγωγής τους. Η ανάγκη για νερό σε εθνικό επίπεδο γέννησε ένα ουσιαστικό παγκόσμιο δίκτυο εμπορίου εικονικού νερού με ισχυρή πλαστικότητα (την ικανότητα να αλλάζει δομικά και λειτουργικά στο χρόνο). Την περίοδο 1986–2008 ο αριθμός των συνδέσεων μεταξύ των χωρών αυξήθηκε κατά 70%.

4. Αυτό αυξάνει τον βαθμό κινητικότητας των παραγόντων στο νερό της χώρας εξαγωγής, ο οποίος σύμφωνα με τη θεωρία της γενικής ισορροπίας (Boulding, 1966) αποτελεί συστατικό της ανάπτυξης καθώς αυξάνει την παραγωγικότητα του νερού. Επιπλέον, τα αγροτοδιατροφικά προϊόντα δεν εμπίπτουν στην κατηγορία των αγαθών που υπακούν στον κύκλο προϊόντων του Vernon (1966) όσον αφορά τις χώρες χαμηλού εισοδήματος, παρά τη συνεχή καινοτόμο πρόοδο στη γεωργική τεχνολογία (Khan, et. al., 2021).

5. Ταυτόχρονα, ο συνδυασμός της κατά κεφαλήν αύξησης του ΑΕΠ, της αύξησης του πληθυσμού και της αύξησης του ΑΕΠ για την Ινδία, την Υποσαχάρια Αφρική (SSA) και την Εγγύς Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική (NENA), που είναι χώρες με προβλήματα στην υδροδότηση, είναι μειονεκτικός σε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

σύγκριση με την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, που είναι οι κύριοι εξαγωγείς γεωργικών προϊόντων διατροφής, σύμφωνα με τα στοιχεία της Παγκόσμιας Τράπεζας (2021).

6. Στην πραγματικότητα, μπορεί να φανεί ότι τα μπλε και πράσινα νερά και οι βροχοπτώσεις της ξηράς δεν σχηματίζουν ένα κλειστό σύστημα όσον αφορά τα ημισφαίρια. Υπάρχει μια εισαγωγή βροχοπτώσεων στο βόρειο ημισφαίριο σε μια ζώνη βόρεια του ισημερινού λόγω της ανακατανομής της ενέργειας μέσω μεταφοράς θερμότητας προς τα βόρεια πέρα από τον ισημερινό, καθώς η μεσημβρινή ανατρεπόμενη κυκλοφορία αναδιανέμει επίσης την ενέργεια, μεταφέροντας θερμότητα προς τα βόρεια κατά μήκος του ισημερινού καθώς και υγρασία που μπορεί να εξασθενήσει λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Frierson et. al., 2013; Weaver et. al., 2012).

Επίσης, το λιώσιμο των πάγων της Αρκτικής οδηγεί σε αυξημένη εμμονή των αποκλίσεων από την τις κανονικές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου (Walsh, 2013). Αυτό καθορίζει τις πλούσιες σε νερό χώρες, με εξαγωγικό επίκεντρο τις ΗΠΑ, έναντι των χωρών με περιορισμούς νερού. Ακόμη και στην περίπτωση μιας ομάδας χωρών και των γειτόνων τους όπου υπάρχει σχετική και όχι απόλυτη αφθονία νερού, το μοντέλο H–O αποδεικνύεται σωστό, π.χ. για χώρες ΜΕΝΑ και χώρες εξαγωγείς όπως η Ελλάδα και η Τουρκία (Sayan, 2009).

Σε αυτήν την περίπτωση, η Ελλάδα και η Τουρκία εξειδίκευσαν τη συγκριτικά πλεονεκτική παραγωγή τους μόνο εν μέρει (το κόστος ευκαιρίας και το συγκριτικό πλεονέκτημα εξαρτώνται από τα επίπεδα παραγωγής και η Ελλάδα συνδέεται με το ακριβό ευρώ ενώ η Τουρκία χρησιμοποιεί τη φθηνή λίρα) και οι άλλες χώρες απέδειξαν ότι τα σχετικά πλεονεκτήματα νερού είναι σπουδαία.

7. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι πλούσιες σε νερό χώρες είναι επίσης, σε γενικές γραμμές, χώρες με ανταγωνιστικό πλεονέκτημα κατά την έννοια του Porter (1990) γεγονός που ενισχύει το συγκριτικό τους πλεονέκτημα που δημιουργείται από την αφθονία του νερού και αντίστροφα.

8. Λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική θεωρία που μας προέρχεται από τη μικροοικονομία, η έννοια του Peteraf (1993) για την άποψη που βασίζεται σε πόρους (RBV) μπορεί να επεκταθεί σε επίπεδο χώρας και ένας πόρος είναι στρατηγικός εάν διαθέτει ετερογένεια, ατελή κινητικότητα και όρια στον ανταγωνισμό. Το νερό μπορεί να ταξινομηθεί ως στρατηγικός πόρος, καθώς οι χώρες με συγκριτικό και ανταγωνιστικό πλεονέκτημα χρησιμοποιούν το νερό ετερογενώς, επιτυγχάνοντας «διαρκείς και συστηματικές διαφορές απόδοσης μεταξύ σχετικά στενών αντιπάλων» καθώς υπάρχει μια ιεραρχία απόδοσης μεταξύ των οικονομιών τους και των στρατηγικών στόχων χρήσης νερού (Peteraf & Bergen, 2003).

9. Επιπλέον, καθώς το νερό αποτελεί μέρος του φυσικού κεφαλαίου, περιλαμβάνεται στον υπολογισμό του εθνικού πλούτου μιας χώρας (Hamilton, et. al., 2014). Πρέπει να σημειωθεί ότι η φυσική του πτυχή, σύμφωνα με την οποία η αξία πρέπει να συσχετίζεται με τη ροή, μπορεί να το κατατάξει ως έκτακτο οικονομικό αγαθό (Savenije, 2002) αν και υπάρχει το αντεπιχείρημα ότι οι άμεσες τιμές της ροής, σύμφωνα με την αξία η έννοια της ροής (Seyam & Hoekstra, 2003) μπορεί να ενσωματωθεί στην πηγή νερού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

2.3. Κρατική Παρέμβαση

2.3.1. Το Δόγμα Δημόσιας Εμπιστοσύνης

Μια σημαντική πτυχή του νερού είναι ο βασικός του ρόλος στην υποστήριξη της ζωής (Pfister et. al., 2009; Westall & Brack, 2018) και η φύση του ως «αναπόσπαστο μέρος του οικοσυστήματος, φυσικού πόρου και κοινωνικού και οικονομικού αγαθού, του οποίου η ποσότητα και η ποιότητα καθορίζουν τη φύση. της αξιοποίησής του» (U.N., 1992, σελ. 276). Το κράτος μπορεί, σε ορισμένες χώρες να κατέχει υδάτινους πόρους

ως καταπίστευμα, ένα καταπιστευματικό καθήκον διαχείρισης, σύμφωνα με το δόγμα της δημόσιας εμπιστοσύνης (Blumm, & Wood, 2013) όπου το «κοινό» μπορεί γενικά να περιλαμβάνει τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές (Weiss, 1989) ή την κληρονομιά (. E.U. Directive 2000/60/EC)

Ωστόσο, στις ΗΠΑ το δόγμα της δημόσιας εμπιστοσύνης δεν εμποδίζει την πώληση δικαιωμάτων στον ιδιωτικό τομέα (Sagarin, & Turnipseed, 2012) υπό την προϋπόθεση ότι το προκύπτον δημόσιο όφελος είναι μεγαλύτερο από την απώλεια κοινωνικού πλούτου (Kameri-Mbote, 2007). ΤΟ μοντέλο αυτό αμφισβητείται για έλλειψη αποτελεσματικότητας στην περίπτωση εφαρμογής συστήματος αναμονής (Chong, & Sunding, 2006) και θεωρείται ως απειλή για τα δικαιώματα του νερού (Richardson, 2016; Smith, 2016) ανεξάρτητα από το αν υφίστανται δικαιώματα ιδιοκτησίας ή όχι (Zellmer & Harder, 2007). Η εφαρμογή του δόγματος του κοινού δικαίου μόνο για την προστασία των υδάτινων πόρων δεν είναι υποχρεωτική διαδικασία αλλά βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην καλή θέληση προς το περιβάλλον (Lazarus, 1986).

Υπάρχουν προβλήματα με το δόγμα εμπιστοσύνης που πηγάζουν από το γεγονός ότι έχει τη δυνατότητα να νικήσει τη βούληση των εκλεγμένων αντιπροσώπων οδηγεί σε ακατάλληλη έκπτωση των περιβαλλοντικών αξιών (Araiza, 1997) και εγείρει ερωτήματα σχετικά με το εάν θα μπορούσε να προσφέρει μια συνολική προσέγγιση διαχείρισης φυσικών πόρων και εάν έχει περαιτέρω χρήση σε μια εποχή νομοθεσιών για την προστασία του περιβάλλοντος (Lazarus, 1986).

Ωστόσο, έχει χρησιμοποιηθεί για τη εφαρμογή μέτρων για την προστασία των υδάτινων πόρων, ακόμη και αν κάτι τέτοιο θα συγκρούονταν με κάποια άλλα συμφέροντα (όπως τα ιδιωτικά δικαιώματα νερού) (Regalia, 2019). Επιπλέον, τα κράτη μπορούν να μηνύσουν για να προστατεύσουν πόρους εμπιστοσύνης υπό τις δικές τους εξουσίες και τα μέλη του κοινού (που κατά τα άλλα έχουν δικαίωμα) μπορούν να μηνύσουν το κράτος επειδή δεν συμμορφώθηκε με τις υποχρεώσεις εμπιστοσύνης του σε ένα συγκεκριμένο υδάτινο σώμα (Turnipseed et. al., 2009).

2.3.2. Ιδιωτικό ή δημόσιο αγαθό;

Τα παραπάνω οδήγησαν στη διαμάχη μεταξύ του ότι το νερό είναι εμπορεύσιμο αγαθό ή τιμολογημένο/μη τιμολογημένο δημόσιο αγαθό. Τα υπέρ και τα επιχειρήματα βασίζονται σε διάφορους λόγους, π.χ.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

1. Αγροτική φτώχεια, η πιθανότητα ιδιωτικής και δημόσιας αποτυχίας, η τελευταία συνδέεται με την αποτυχία διαχείρισης (Chamber, 1988)

2. Τα μικτά αποτελέσματα και η έμφαση στα οικονομικά της εμπορίας δικαιωμάτων ύδατος με πολύ λίγη προσοχή στις επιπτώσεις του Κώδικα Υδάτων στην κοινωνική δικαιοσύνη.

3. Διαχείριση λεκάνης απορροής ποταμού.

4. Προστασία του περιβάλλοντος.

5. Επίλυση των υδάτινων συγκρούσεων στην περίπτωση του πλαισίου για το νερό (Bauer, 2002)

6. Η αξία που δημιουργείται από την άρδευση στην παραγωγική διαδικασία (Zilberman & Schoengold, 2005).

7. Το γεγονός ότι η επιλογή μεταξύ δημόσιας και ιδιωτικής παροχής νερού περιλαμβάνει το κόστος των κεφαλαίων, δηλαδή το κοινωνικό κόστος των φόρων, το κόστος συναλλαγής, τη διαφορά απόδοσης, που δεν ευνόησε την ιδιωτική παράδοση, και το πιθανό πολιτικό κόστος της ιδιωτικοποίησης (Pérard, 2009)

8. Το επιχείρημα ότι ο συνδυασμός του δόγματος της δημόσιας εμπιστοσύνης και της διττής φύσης του νερού ως οικονομικού εμπορεύματος και ως παγκόσμιου ανθρώπινου δικαιώματος οδηγεί στο ότι το νερό είναι δημόσιο εμπόρευμα (Thompson, 2011)

2.3.3. Οι κρατικοί κανόνες

Μια λύση στη μέση του δρόμου με μεγάλη πιθανότητα επιτυχίας είναι η θέση ότι το νερό είναι ένα αγαθό που απαιτεί κρατική επίβλεψη/ρύθμιση (Young, & Haveman, 1985) η οποία είναι λιγότερο περιοριστική από τη διαχείριση δημόσιας εμπιστοσύνης αλλά πιο περιοριστική από μια ανοιχτή ιδιωτική αγορά αγαθών. Το νερό είναι συνήθως ένα εμπόρευμα υπό αυστηρή ρύθμιση, πιθανώς από το κράτος, λόγω κυρίως του γεγονότος ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού είναι μοναδικά και κυριότερα διότι είναι φυσικό μονοπώλιο. Αυτό δεν επιτρέπει τη δημιουργία ανταγωνιστικών αγορών που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν οικονομική αξία (Young, 1996; Easter et. al., 1997) παρά την πολιτική του ΟΟΣΑ «ο χρήστης πληρώνει» (Dommen, 1993) που εφαρμόστηκε πιο πρόσφατα στη Βραζιλία (OECD, 2017; Monteiro dos Santos et. al., 2020).

Αυτό οδηγεί στο γεγονός ότι όταν επιβάλλεται ένα τέλος νερού, το οποίο ισοδυναμεί με τιμολόγιο (Molle & Berkoff, 2007) συνήθως δεν είναι ανάλογο ούτε με την κατά τα άλλα αντιληπτή οικονομική του αξία ούτε με το κόστος παροχής του, λόγω επιδοτήσεων ή κρατικής χρηματοδότησης της υποδομής που πέρασε στη γενική φορολογία.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

2.4. Βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων

Μεγάλο πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη ποιοτικών πόρων, αλλά και πρόκληση για τη διαχείριση των υδάτων. Αυτό το φαινόμενο είναι κοινό και μπορεί να παρατηρηθεί στις ανεπτυγμένες, καθώς και στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ισχυρή οικονομική ανάπτυξη και η αυξανόμενη υιοθέτηση δυτικών καταναλωτικών προτύπων το καθιστούν όλο και πιο σπάνιο. Ταυτόχρονα, η ρύπανση του περιβάλλοντος αυξάνει περαιτέρω την επιβάρυνση της ποιότητας των πόρων. Η οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα 2000 / 60 / ΕΚ έχει ως βασικό στόχο τη ορθολογική χρήση των υδάτων για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος.

Η αειφόρος διαχείριση ορίζεται ως η διαχείριση που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες, σύμφωνα με την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (WCED, 1987)

Για τη βιώσιμη χρήση των υδάτινων πόρων, καλό θα ήταν να τηρούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Εν ολίγοις, θα πρέπει από τη μία οι εξαντλούμενοι ανανεώσιμοι πόροι να χρησιμοποιούνται με ρυθμό θετικού ισοζυγίου, ενώ οι πόροι που θεωρούνται ως μη ανανεώσιμοι πόροι, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με ορθολογικό τρόπο, ώστε να είναι διαθέσιμοι στις μελλοντικές γενεές. Πρόκειται στην ουσία για μια αειφορική διάσταση που οφείλουμε να δίνουμε στη διαχείριση των υδάτων (Petas, 2008).

2.4.1. Διαχείριση της προσφοράς του νερού

Η διαχείριση ύδρευσης είναι μια πολιτική που αντιμετωπίζει τα προβλήματα παροχής νερού σε περιπτώσεις που η ζήτηση υπερβαίνει τις παρεχόμενες ποσότητες ή σε περιπτώσεις που εγκαταλείπονται παλαιότερες, υποβαθμισμένες ή εκμεταλλευόμενες πηγές.. Για να εφαρμοστούν και να λειτουργήσουν αυτές οι πολιτικές απαιτείται η χάραξη και η κατασκευή υδραυλικών έργων υψηλής αξίας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να αξιοποιηθεί, συλλεχθεί, αποθηκευτεί, μεταφερθεί και μοιραστεί το νερό. Υπάρχει κάποια συζήτηση για την αποτελεσματικότητα αυτής της πολιτικής, κάτι που έχει εφαρμοστεί στο παρελθόν.

Γενικά θεωρείται ότι η χώρα δεν είναι καλά εξοπλισμένη για να χειριστεί τα τρέχοντα προβλήματα, όπως η ανεπάρκεια φυσικών πόρων και η ανάγκη για επείγουσα δράση για τη διάσωσή τους.

Είναι μια πολύ δαπανηρή διαδικασία και συχνά αποτυγχάνει να συνυπολογίσει ζητήματα ισότητας ή προσβασιμότητας του νερού. Αυτοί, αποτελούν μόνο μερικούς από τους λόγους για τους οποίους οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής επιλέγουν συχνά να απομακρυνθούν από τις πολιτικές διαχείρισης της προσφοράς και αντ' αυτού ψάχνουν νέες, πιο βιώσιμες, οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον ή κοινωνικές πολιτικές, όπως η διαχείριση του νερού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

2.4.2. Διαχείριση της ζήτησης του νερού

Η παγκόσμια ζήτηση για νερό αυξάνεται ραγδαία, πολύ πιο γρήγορα από την αύξηση του πληθυσμού. Αντίθετα, οι διαθέσιμοι φυσικοί πόροι παραμένουν σχεδόν αμετάβλητοι. Συνδυάζοντας τις παραπάνω πληροφορίες, είναι σαφές ότι στο μέλλον θα υπάρξει έλλειψη υδάτινων πόρων, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη ενεργοποίησης διαδικασιών διαχείρισης για τη διαχείριση της ζήτησης νερού (Βαγιωνά, 2004).

Η διαχείριση της ζήτησης νερού είναι η διαδικασία ελέγχου και ρύθμισης της ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται από τους χρήστες. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα μέτρα αυτά συνεχίζουν να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών σε νερό, χρησιμοποιώντας τη μικρότερη δυνατή ποσότητα διαθέσιμων πόρων. Οι στρατηγικές εξοικονόμησης νερού μπορούν να περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση νερού παράλληλα με την αποτελεσματική χρήση του (Βαγιωνά, 2004).

Οι Mohamed et al. (2000) υποστηρίζουν πως για την έναρξη αυτής της διαδικασίας θα πρέπει αρχικά να γίνει ο προσδιορισμός της ποσότητας του νερού που αναλογεί σε κάθε κατηγορία χρηστών και να διαμορφωθεί ένα ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης καθώς και μία τιμή που το κοινό τη θεωρεί «αποδεκτή» και «προσιτή» (Wang, 2010). Έπειτα, η διενέργεια κατάλληλων παρεμβάσεων και η υλοποίηση κοινωνικο-οικονομικών δράσεων και ενεργειών θα επιφέρει την εξασφάλιση των υδατικών αποθεμάτων, καθώς και την διαχείριση της ζήτησης του νερού.

2.5. Οι χρήσεις του νερού

Όπως είναι ευρέως γνωστό, η επιφάνεια του πλανήτη Γη καλύπτεται από νερό κατά 70%. Από αυτό το ποσοστό, το 97% είναι αλμυρό νερό μιας και εντοπίζεται σε θάλασσες και ωκεανούς και ως εκ τούτου είναι ακατάλληλο για ευρεία χρήση. Με λίγα λόγια μόνο το 2% μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο μιας και το υπόλοιπο 1% βρίσκεται σε στερεή μορφή στις πολικές ζώνες της Γης (Camp and Daugherty, 2004).

Στην Οδηγία-Πλαίσιο για το Νερό 2000/ 60 /ΕΚ ορίζονται οι χρήσεις του, οι οποίες είναι η οικιακή, η βιομηχανική και η γεωργική.. Επιπλέον, ο ελληνικός Νόμος 3199 / 03 κάνει αναφορά στην ενεργειακή χρήση του νερού σε υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπως και στη χρήση του για αναψυχή (ψυχαγωγικές δραστηριότητες). Ως εκ τούτου, η χρήση του νερού είναι πανταχού παρούσα. Χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα, στον οικιακό, στον βιομηχανικό κοκ.

Αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τον Ν. 3199/03, στον οποίο αναφερόμαστε αρκετά συχνά κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, η χρήση για ύδρευση καλύπτεται πάντα παρά το γεγονός ότι πολλά νοικοκυριά συνηθίζουν να κάνουν άσκοπη χρήση του νερού. Αναφορικά με την τελευταία πρόταση, οι Camp και Daugherty (2004) θεωρούν πως αυτή η σπατάλη σχετίζεται εν πολλοίς με τις ανέσεις που έχουμε συνηθίσει να χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι αναγκαίο ένα σχέδιο διαχείρισης νερού ώστε αυτό να χρησιμοποιείται όχι απλά ορθά αλλά και με σύνεση (Φιλιός, 2010). Χρειάζεται εν ολίγοις πρόνοια για την βιώσιμη και μακρόχρονη διαχείριση των υδάτινων πόρων (Ν. 3199 / 03).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Τις ίδιες προτεραιότητες θεσπίζει και η Οδηγία-Πλαίσιο για το Νερό 2000/ 60 /ΕΚ που έχει ως στόχο ορθολογική διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων . Ειδικότερα, υπάρχει πρόνοια και βλέψεις ώστε να αποκαταστήσει τους επιβαρυμένους υδατικούς πόρους, να βελτιώσει τη ποιότητα του νερού και να ενισχύσει τις ελλειμματικές υδατικές ποσότητες. Παράλληλα, αποτρέπεται η επιδείνωση των υδάτων και προωθείται η περαιτέρω βελτίωση και βιώσιμη διαχείριση αυτών. Την ίδια ώρα, προτείνεται, η θέσπιση μέτρων τέτοιων που αποσκοπούν στην σταδιακή μείωση της ποσότητας των ρυπαντικών ουσιών που καταλήγουν στο νερό εφαρμόζοντας την Αρχή ο «ρυπαίνων πληρώνει». Ακόμη προτείνονται τρόποι με τους οποίους αντιμετωπίζονται οι αρνητικές επιπτώσεις οι οποίες σχετίζονται με τον καιρό όπως η ξηρασία και οι πλημμύρες (Οδηγία 2000/60/ΕΚ).

2.6. Η οικιακή χρήση του νερού

Το νερό για οικιακή χρήση, δηλαδή η κατανάλωση του νερού στο σπίτι επιμερίζεται σε 2 βασικές κατηγοριοποιήσεις τις εσωτερικές χρήσεις και τις εξωτερικές με τις πρώτες να λαμβάνουν χώρα εντός του σπιτιού και σχετίζονται με την ατομική υγιεινή και την υγιεινή του χώρου. Τέτοιες χρήσεις είναι (Κυριακού, 2007; Μαντζαβίνου, 2011):

- Προσωπική υγιεινή
- Πλύσιμο ρούχων , πιάτων
- Νερό για τουαλέτα
- Νερό για πόση
- Μπάνιο
- Μαγείρεμα
- Κλιματισμός
- Καθαρισμός χώρων κατοικίας

Οι εξωτερικές χρήσεις σχετίζονται με τον παράγοντα άνεση όπως αναλύθηκε παραπάνω και σχετίζονται με το ανθρώπινο βιωτικό επίπεδο και την αύξησή του. Τέτοιες ανέσεις είναι οι ακόλουθες (Μαντζαβίνου, 2011; Κυριακού, 2007):

- Πότισμα κήπου
- Πλύσιμο αυτοκινήτου
- Πισίνα
- Καθαρισμός εξωτερικών χώρων

2.7. Οι παράγοντες που καθορίζουν τη ζήτηση του οικιακού νερού

Η κατανάλωση του νερού δεν αποτελεί σταθερό μέγεθος, αλλά διαφοροποιείται και η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται με πολλούς παράγοντες. Σε αυτούς αναφερόμαστε στη συνέχεια. Ειδικότερα:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Αριθμός χρηστών: Σχετίζεται με τον αριθμό κατανομής και πυκνότητας του πληθυσμού σε μια περιοχή.
- Χαρακτηριστικά χρηστών: Πολλά από τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του καταναλωτή όπως είναι, το εισόδημα, η ηλικία και η συμπεριφορά τους ως προς την κατανάλωση νερού επηρεάζουν τη ζήτηση του νερού (Ferrara, 2008).
- Χαρακτηριστικά κατοικίας: Το είδος και κυρίως το μέγεθος ενός σπιτιού επηρεάζουν την ποσότητα κατανάλωσης νερού (Ανδρεάκη και Γκράτζιου, 2005). Έχει υπολογιστεί πως τα μεγάλα σπίτια, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού (Archibald and Renwick, 1998; Molina and Nieswiadomy, 1989)
- Χαρακτηριστικά περιοχής: αυτά συνδέονται κυρίως με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, δηλαδή τις θερμοκρασίες που παρατηρούνται καθώς και τη συχνότητα των βροχοπτώσεων (Mazzanti και Montini, 2005).
- Χαρακτηριστικά νερού: Ο παράγοντας αυτός έχει να κάνει με το κόστος στο οποίο προσφέρεται το νερό. Αν η χρέωσή του είναι μεγάλη τότε αυτόματα μειώνεται και η ζήτηση.

2.8. Η ανάκτηση πλήρους κόστους

Κρίσιμη για την τιμολόγηση του νερού σε όλη την Ευρώπη είναι η Οδηγία-Πλαίσιο για το Νερό 2000 / 60 / ΕΚ, η οποία έως το 2010 απαιτούσε από όλα τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. να αναπτύξουν συγκεκριμένες πολιτικές τιμολόγησης για το νερό. Αυτές οι τιμολογιακές πολιτικές έχουν τη δυνατότητα και την ανάγκη να παρακινήσουν τους πολίτες να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά το νερό. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ρυθμιστής είναι τόσο η πλήρης ανάκτηση κόστους (FCR) όσο και η τιμολόγηση, η οποία γίνεται σημαντικό εργαλείο για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Άρθρο 4 Περιβαλλοντικοί στόχοι. Καθορισμός ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων. Υποβάθμιση περιβαλλοντικών στόχων.	Απαιτείται αιτιολόγηση για τον προσδιορισμό ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων (... η φυσική τους κατάσταση είναι τέτοια ώστε η επίτευξη των στόχων να είναι ανέφικτή η δυσανάλογα δαπανηρή ...) Υποβάθμιση περιβαλλοντικών στόχων δικαιολογείται όταν: • Η επίτευξη τους μέσα στο χρονοδιάγραμμα είναι δυσανάλογα δαπανηρή. • Η επίτευξη τους είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και δεν υπάρχουν εναλλακτικά μέτρα σημαντικά καλύτερα που δεν παρουσιάζουν δυσανάλογα κόστη. • Μια νέα δραστηριότητα επιτυγχάνει οφέλη που υπερτερούν έναντι της διατήρησης της καλής κατάστασης των υδατικών συστημάτων και δεν υπάρχει άλλος τρόπος επίτευξης των ίδιων αποτελεσμάτων που να μην παρουσιάζει δυσανάλογα κόστη.
Άρθρο 5 και Παράρτημα ΙΙΙ Χαρακτηριστικά περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού. Αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οικονομική ανάλυση χρήσεων νερού.	Μέρος της ανάλυσης των χαρακτηριστικών λεκάνης απορροής αποτελεί η οικονομική ανάλυση των χρήσεων νερού με βάση τις προδιαγραφές του Παραρτήματος ΙΙΙ. Η οικονομική ανάλυση περιλαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες και σε λεπτομέρεια τέτοια ώστε: • Να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την ανάκτηση του συνολικού κόστους υπηρεσιών νερού λαμβάνοντας υπόψη προβλέψεις για τη εξέλιξη της προσφοράς και ζήτηση νερού, τιμές και κόστος υπηρεσιών νερού και τις απαραίτητες επενδύσεις. • Να γίνει κριτική αξιολόγηση των πιο οικονομικά αποδοτικών μέτρων για να συμπεριληφθούν στο πρόγραμμα μέτρων που θα αναπτυχθεί.
Άρθρο 9 Ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος.	Λαμβάνεται υπόψη η αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος συμπεριλαμβανομένου του κόστους για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους Τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίζουν: • Ότι οι πολιτικές τιμολόγησης του ύδατος παρέχουν κατάλληλα κίνητρα στους χρήστες για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδατικούς πόρους. • Κατάλληλη συμβολή των διαφόρων χρήσεων νερού διακρινόμενων τουλάχιστον σε βιομηχανία, νοικοκυριά και γεωργία στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος. Παρέχεται η δυνατότητα να συνεκτιμώνται τα κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα της ανάκτησης του συνολικού κόστους.
Άρθρο 11 και Παράρτημα VI Πρόγραμμα μέτρων.	Θέσπιση προγράμματος μέτρων με βάση τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων. Τα βασικά μέτρα περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, μέτρα που κρίνονται κατάλληλα για τους σκοπούς του άρθρου 9 (ανάκτηση του συνολικού κόστους)

Εικόνα 3 Οικονομικά στοιχεία στην Οδηγία 2000/60 (5), πηγή: Βοϊβόντας και Ασημακόπουλος, 2002

Τα διάφορα είδη κόστους τα οποία κάλλιστα θα μπορούσαν να συσχετιστούν με ένα ολοκληρωμένο ορισμό για την Πλήρη Ανάκτηση Κόστους είναι τα παρακάτω (Roth, 2001):

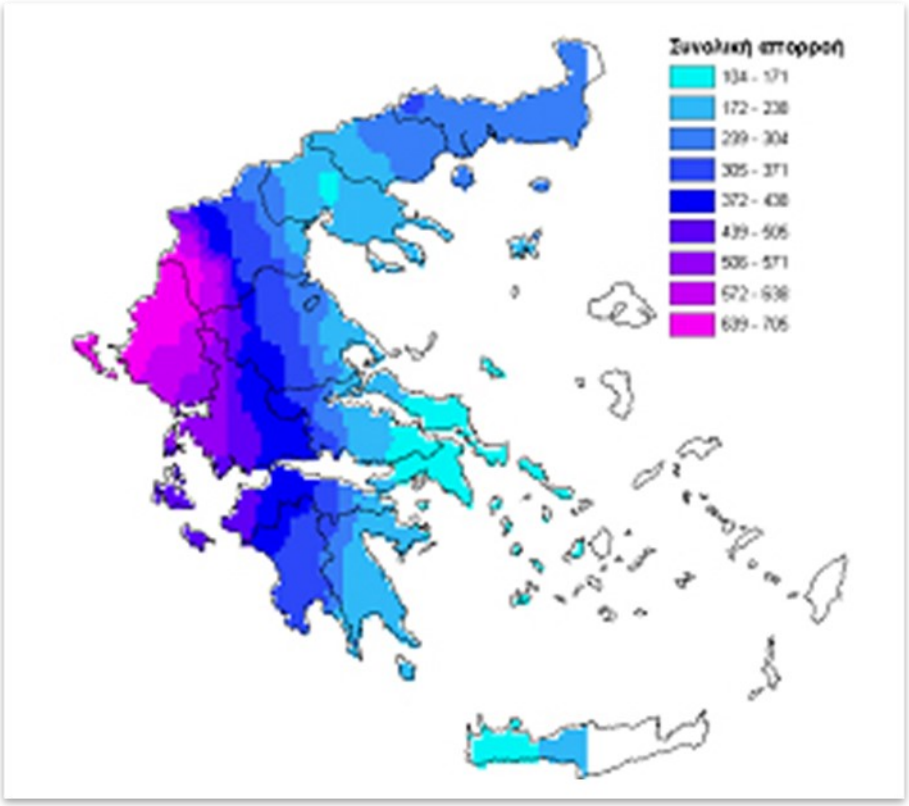
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης, τα οποία είναι τα συνήθη έξοδα που προκύπτουν σε καθημερινή βάση.
- Δαπάνες που σχετίζονται με την επεξεργασία, συλλογή, διανομή και μεταφορά νερού
- Κόστος κεφαλαίου: θα χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση νέας επένδυσης ή δανείου στην εταιρεία διαχείρισης. Αυτά τα κόστη προέρχονται από διαφορές στην απόδοση των επενδύσεων κεφαλαίου και στις επενδυτικές δραστηριότητες σχετικά με τις υποδομές που σχετίζονται με το νερό.
- Το κόστος πόρων αναφέρεται στην απώλεια εσόδων από το νερό εάν χρησιμοποιείται για εναλλακτικές χρήσεις και όχι σε περιπτώσεις όπου τα ποσοστά επανυδάτωσης ξεπερνιούνται.
- Κοινωνικό κόστος. Αναφέρεται στη συνεκτίμηση του κόστους που επιβάλλει σε άλλους χρήστες η υψηλότερη κατανάλωση νερού ορισμένων ανθρώπων, εάν το νερό είναι οικονομικά σπάνιο.
- Περιβαλλοντικό κόστος. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε περιβαλλοντική επιβάρυνση που σχετίζεται με τη χρήση νερού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Αν και έχουν εντοπιστεί όλοι οι παραπάνω παράγοντες, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί οριστικά το συνολικό οικονομικό κόστος των υδάτινων πόρων, στην πραγματικότητα είναι μια ιδιαίτερη πρόκληση καθώς πρέπει να συλλέγονται δεδομένα και πληροφορίες για να αποτυπωθεί η πραγματική κατάσταση και οι ανάγκες σε κοστολόγηση . Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι δεν είναι ασήμαντο να υπάρχει ένας οριστικός τρόπος υπολογισμού του κόστους του νερού και ως διαδικασία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη πολυπλοκότητα. Το περιβαλλοντικό κόστος, το κόστος πόρων και το οικονομικό κόστος αποτελούν κόστος παροχής υπηρεσιών νερού.

2.9. Προβλήματα στην αξιοποίηση υδατικών πόρων στην χώρα μας

Η οροσειρά της Πίνδου επηρεάζει δραστικά τις διαδικασίες βροχόπτωσης στην Ελλάδα, η οποία καταλαμβάνει μεγάλο μέρος της χώρας από βορειοδυτικά προς νότια. Στις ορεινές περιοχές της Δυτικής Ελλάδας, ο ετήσιος μέσος όρος βροχόπτωσης υπερβαίνει τα 150 εκατοστά, ενώ στις ανατολικές περιοχές, μπορεί να φτάσει τα 40 εκατοστά. Στην Εικόνα 4, φαίνεται το ιδιόμορφο υδρολογικό καθεστώς της Ελλάδας. Συμπερασματικά, το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων δέχεται η Δ.Ελλάδα και εκεί παρουσιάζονται υψηλότερες τιμές απορροής ενώ σημαντικά μικρότερες λαμβάνουν μέρος στα ανατολικά ηπειρωτικά και το Αιγαίο Πέλαγος.



Εικόνα 4 Μέση ετήσια συνολική απορροή στην Ελλάδα, πηγή: Μιμίκου, 2004

Συνολικά, η Ελλάδα διαθέτει άφθονους υδάτινους πόρους, αλλά για διάφορους λόγους η πραγματική διαθεσιμότητα έχει μειωθεί σημαντικά, καθιστώντας την πρόσβαση δύσκολη (Sofios

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

et al., 2008). (Προβλήματα προκαλούνται στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων από βασικούς φυσικούς λόγους όπως:

- Η μη ομοιόμορφη κατανομή υδατικών πόρων χωρικά και χρονικά
- Η αντιπαράθεση την ζήτησης χωρικά σε αντίθεση με την προσφορά
- Η γεωμετρία του εδάφους
- Η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές που προέρχονται από τις γειτονικές χώρες.
- Η μεγάλη έκταση των ακτών
- Ο μεγάλος αριθμός άνυδρων νησιών που χαρακτηρίζονται από περιορισμένους υδατικούς πόρους.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων είναι μια διαδικασία που διευκολύνει τη συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση των υδάτινων, συναφών χερσαίων και άλλων πόρων και στοχεύει στη μεγιστοποίηση της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας χωρίς να διακυβεύεται η βιωσιμότητα κρίσιμων οικοσυστημάτων. (Global Water Paternship, 2000).

Βάσει της διεθνής βιβλιογραφίας, η υιοθέτηση και πραγματοποίηση τεσσάρων βασικών αρχών προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη υδατικών πόρων:

- Διαχείριση και σωστή εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων μέσω μίας ενιαίας και ολοκληρωμένης αντιμετώπισης των οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και τεχνικών παραμέτρων της.
- Διαχείριση της ζήτησης του νερού χωρίς να ζημιώνεται περιβαλλοντικά και υιοθέτηση πολιτικής διαχείρισης οικονομικής προσφοράς του.
- Σύμφωνα με την πλήρη αξία του νερού να διεξαχθεί οικονομική αξιολόγηση του νερού και του κόστους του
- Ένταξη και συμμετοχή στη συνολική διαδικασία των τελικών χρηστών νερού (δημόσιου και ιδιωτικού τομέα) και αποκέντρωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων.

Με τον νόμο 3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α/09.12.2003) και το ΠΔ 51/2007 (ΦΕΚ 54 Α/08.03.2007) πραγματοποιήθηκε η προσαρμογή του ελληνικού νομοθετικού πλαισίου με την Οδηγία-Πλαίσιο 2000/ 60 /ΕΚ . Η εθνική νομοθεσία καθορίζει τη διαμόρφωση νέων διοικητικών δομών εθνικά και σε οργάνωση περιφερειακών παραρτημάτων. Θεσπίζει τις αρμοδιότητες των επιμέρους φορέων και παράλληλα καθορίζει την ενσωμάτωση των βασικών εννοιών της Οδηγίας για τους υδάτινους πόρους. Σε εθνικό επίπεδο, η Ειδική Γραμματεία Υδάτων είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή των οδηγιών-πλαισίων.

2.10. Θεμελιώδεις έννοιες υδατικού ισοζυγίου

Τα δίκτυα ύδρευσης αντιμετωπίζουν βασικά προβλήματα όπως:

- Οι απώλειες του νερού
- Η φυσική ακεραιότητα
- Η παροχετευτική ικανότητα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Η ποιότητα του νερού

Τα προβλήματα που προκύπτουν αναλύονται παρακάτω:

- διάβρωση των μεταλλικών αγωγών
- μείωση της παροχετευτικής ικανότητας
- διαρροές και θραύσεις
- υποβάθμιση της ποιότητας του νερού
- και άλλα

Το αρχικό σημαντικό βήμα στην ολοκληρωμένη διαχείριση είναι η έγκυρη εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης του δικτύου και οι βέλτιστες λύσεις παρέμβασης. Σκοπός αυτής της αξιολόγησης είναι η συμπλήρωση του πίνακος υδατικού ισοζυγίου του δικτύου, η βαθμολόγηση των λειτουργιών και η διάκριση της βέλτιστης λύσης παρέμβασης. Η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί τη χρήση αποδεκτών μεθόδων για τον υπολογισμό του ισοζυγίου νερού, τη χρήση αποδεκτών μετρήσεων για την αξιολόγηση της απόδοσης ολόκληρου του συστήματος και την κατανόηση των τεχνολογιών και τεχνικών αιχμής. Για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, τα διαθέσιμα εργαλεία είναι τα ισοζύγια νερού, τα εργαλεία ελέγχου νερού και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Ένας βασικός παράγοντας είναι η συνειδητοποίηση από τους διαχειριστές δικτύων ότι, πρώτα, η απόδοση του νερού πρέπει να βελτιωθεί και μετά να οδηγηθούν στην αναζήτηση νέων πηγών υδροδότησης.

Με την έννοια της «αποδοτικότητας χρήσης νερού» γίνεται λόγος για την μεγέθυνση της μοναδιαίας απόδοσης του νερού. Η έννοια αυτή παρουσιάζει 2 βασικές διαστάσεις. Η πρώτη από αυτές τις διαστάσεις σχετίζεται με τη μείωση της απώλειας νερού, παράγοντας που αποτελεί περιβαλλοντικό δείκτη απόδοσης του συστήματος. Για να ξεκαθαρίσουμε λίγο την κατάσταση, πιο συγκεκριμένα, η κλοπή νερού δεν εντάσσεται στην κατηγορία των απωλειών, καθώς στην πραγματικότητα δεν χάνεται και εν τέλει χρησιμοποιείται. Βέβαια, δεν υπάρχει χρέωση για τον τελικό καταναλωτή. Ωστόσο, μιλώντας για την κλοπή νερού, μπορεί να γίνει και αναφορά σε έναν τρόπο συντηρητικό μιας και οι χρήστες αυτής της ποσότητας νερού προσπαθούν να δράσουν στιγμιαία και να αποσπάσουν την απαιτούμενη τους ποσότητα ώστε η κλοπή να μην γίνεται αντιληπτή.

Η ελαχιστοποίηση της απώλειας εσόδων που σχετίζεται με το "μη ανταποδοτικό νερό" αποτελεί τη δεύτερη διάσταση. Σε αυτή τη περίσταση, η κλοπή του νερού θεωρείται απώλεια νερού, αφού έχει να κάνει με την απώλεια των εσόδων. Η μείωση του «Μη Ανταποδοτικού Νερού» στα δίκτυα ύδρευσης πρέπει να αποτελεί τον τελικό στόχο των διαχειριστών των δικτύων ύδρευσης. Η αποφυγή αυτής της κατάστασης απαιτεί ολοκληρωμένες πολιτικές που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση νερού μειώνοντας την απώλεια διαφόρων ειδών και τη σπατάλη τους από τους χρήστες.

Για να γίνει αυτό, ως πρώτο βήμα, πρέπει να αξιολογηθεί το λειτουργικό επίπεδο του δικτύου με τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Υδάτων (IWA) και με τη χρήση κατάλληλων δεικτών αξιολόγησης:

Ακολουθούν όλοι οι ορισμοί του IWA (2000):

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- **Όγκος εισερχόμενου νερού στο δίκτυο (System Input Volume-SIV):** Ετήσιος όγκος που εισρέει στο σύστημα από οποιονδήποτε υδατικό πόρο
- **Εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (AuthorizedConsumption):** Ετήσια κατανάλωση νερού από όλα τα άτομα που είναι εγγεγραμμένα στις επιχειρήσεις ύδρευσης (χρήστες, πελάτες, επιχειρήσεις ύδρευσης, άτομα εξουσιοδοτημένα από επιχειρήσεις ύδρευσης).
- **Απώλειες Νερού (Water Losses):** Η διαφορά μεταξύ της ποσότητας που εισέρχεται στο σύστημα και της απαιτούμενης κατανάλωσης. Ο υπολογισμός αυτός αντικατοπτρίζει το μέγεθος του προβλήματος και είναι απαραίτητος για τη λήψη πρωτοβουλιών και μέτρων. Οι απώλειες νερού διακρίνονται σε πραγματικές απώλειες (φυσικές απώλειες) και σε φαινόμενες απώλειες (εμπορικές απώλειες)
- **Πραγματικές Απώλειες (RealLosses):** Αυτή είναι η ετήσια ποσότητα νερού που χάνεται στο σύστημα διανομής νερού υπό πίεση μέχρι το σημείο χρήσης από τους καταναλωτές. (συνήθως ένας μετρητής κατανάλωσης)
- **Φαινόμενες Απώλειες:** Αυτό αφορά τη μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση και διάφορες ανακρίβειες που σχετίζονται με τους μετρητές.
- **Μη ανταποδοτικό Νερό (Non-Revenue Water/ NRW**): Είναι η διαφορά της εισερχόμενης ποσότητας νερού στο σύστημα και της εγκεκριμένης τιμολογούμενης κατανάλωσης. Το μη ανταποδοτικό νερό περιλαμβάνει μη χρεωμένη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση, τις φαινόμενες και τις πραγματικές απώλειες.

Η αρχική μορφή του ογκομετρικού Υδατικού Ισοζυγίου ορίζεται από τους δείκτες αυτούς σύμφωνα με το IWA, η οποία παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 1 Υδατικό ισοζύγιο σύμφωνα με το IWA

<table>
<tr><td rowspan="8">Ετήσιο Εισερχόμενο Νερό Στο Δίκτυο</td><td rowspan="4">Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td><td rowspan="2">Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td><td>Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση</td><td rowspan="2">Νερό που αποδίδει έσοδα</td></tr>
<tr><td>Τιμολογούμενη μη-Μετρούμενη Κατανάλωση</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Μη-Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td><td>Μη-Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση</td><td rowspan="4">Νερό που δεν αποδίδει έσοδα (μη Ανταποδοτικό Νερό)</td></tr>
<tr><td>Μη-Τιμολογούμενη Μη-Μετρούμενη Κατανάλωση</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Απώλειες Νερού</td><td rowspan="2">Φαινόμενες Απώλειες Νερού</td><td>Μη- Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td></tr>
<tr><td>Λάθη Μετρητών /Μετρήσεων</td></tr>
<tr><td colspan="2">Πραγματικές Απώλειες Νερού</td></tr>
</table>

«…Η εφαρμογή του Πρότυπου Υδατικού Ισοζυγίου σε χώρες της Μεσογείου έδειξε ότι υπάρχουν τοπικά χαρακτηριστικά και πολιτικές που δημιουργούν προβλήματα στον ακριβή αξιόπιστο υπολογισμό του. Στη λεκάνη της Μεσογείου αποτελεί συνηθισμένη πρακτική η χρέωση Παγίου (είτε ως ελάχιστη κατανάλωση σε κυβικά μέτρα νερού, είτε ως ελάχιστη χρέωση σε χρήμα). Στην πρώτη περίπτωση ο καταναλωτής αν καταναλώσει ποσότητα νερού μικρότερη από την ελάχιστη, χρεώνεται με την ελάχιστη αυτή ποσότητα. Στην περίπτωση της πάγιας χρέωσης χρηματικού ποσού, ο καταναλωτής είτε καταναλώνει είτε όχι, χρεώνεται με το ελάχιστο αυτό ποσό, στο οποίο προστίθεται η αξία της ποσότητας νερού που κατανάλωσε πραγματικά. Οι εταιρείες ύδρευσης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

χρησιμοποιούν ουσιαστικά την πάγια χρέωση για να επιτύχουν ισοστάθμιση των εξόδων τους, ενώ ο πραγματικός της ρόλος θα έπρεπε να είναι το κόστος ευκαιρίας που θα πρέπει να πληρώνει κάθε καταναλωτής για την δυνατότητα πρόσβασης σε νερό. Η αναγκαιότητα επίτευξης του «νεκρού σημείου», και άρα διασφάλιση οριακής βιωσιμότητας, αποτελεί τη βασική δικαιολογία εκ μέρους των εταιρειών ύδρευσης για τη χρήση της πάγιας χρέωσης. Η πρακτική όμως αυτή στην ουσία υποβαθμίζει την αναγκαιότητα λήψης μέτρων μείωσης του μη-ανταποδοτικού νερού, αφού μέρος του ανακτάται μέσω του παγίου».

Προσπαθώντας να αναδείξουν το ρόλο και τη σημασία του παγίου, οι Κανακούδης & Τσιτσιφλή (2010) προτείνουν την 2η τροποποίηση του Υδατικού Ισοζυγίου της IWA. Έτσι το Υδατικό Ισοζύγιο της IWA από την αρχική του μορφή που ήταν πλήρως ογκομετρικό γίνεται με τη 2η τροποποίηση πλήρως οικονομικό.

Με τη 2η τροποποίηση του Υδατικού Ισοζυγίου εισαγάγεται η έννοια της «Διαφοράς Παγίου» που ουσιαστικά αφορά τις απώλειες νερού των οποίων την αξία η εταιρεία ύδρευσης ανακτά. (Κανακούδης & Τσιτσιφλή, 2010).

Η προαναφερθείσα τροποποίηση παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 2 Ισοζύγιο του νερού (Κανακούδης&Τσιτσιφλή 2010) (2η Τροποποίηση)

<table>
<tr><td rowspan="8">Ετήσιο Εισερχόμενο Νερό Στο Δίκτυο</td><td rowspan="5">Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td><td rowspan="2">Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td><td>Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση</td><td>Νερό που πωλείται και αποδίδει έσοδα</td><td>Νερό που πωλείται και αποδίδει έσοδα</td></tr>
<tr><td>Τιμολογούμενη μη-Μετρούμενη Κατανάλωση</td><td>Νερό που πωλείται και ΔΕΝ αποδίδει έσοδα</td><td>Νερό που πωλείται και ΔΕΝ αποδίδει έσοδα</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Μη-Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td><td>Μη-Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση</td><td rowspan="4">Νερό που δεν πωλείται και δεν αποδίδει έσοδα (μη Ανταποδοτικό Νερό)</td><td rowspan="3">Λογιστικό μη ανταποδοτικό νερό</td></tr>
<tr><td>Μη-Τιμολογούμενη Μη-Μετρούμενη Κατανάλωση</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Απώλειες Νερού</td><td rowspan="2">Φαινόμενες Απώλειες Νερού</td><td>Μη- Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση</td></tr>
<tr><td>Λάθη Μετρητών /Μετρήσεων</td></tr>
<tr><td colspan="2">Πραγματικές Απώλειες Νερού</td><td>Απώλειες Νερού που αποδίδουν έσοδα (Διαφορά Παγίου)</td></tr>
</table>

Συνοψίζοντας, η παραπάνω διαδικασία, δηλαδή να υπολογιστεί το υδατικό ισοζύγιο είναι απαραίτητη για να ξεκινήσει ορθά η διαδικασία λήψης πρωτοβουλιών και μέτρων μιας και το πρόβλημα με τον διαρκώς αυξανόμενο όγκο απωλειών νερού είναι πραγματικά πολύ μεγάλο.

2.11. Σχέση μεταξύ της διαχείρισης της πίεσης και των απωλειών

Αναγνωρίζεται σε αρκετές χώρες (μεταξύ αυτών η Αυστραλία και το Ισραήλ), ότι η συμβολή της πίεσης στο μέγεθος και στη συχνότητα εμφάνισης απωλειών στα δίκτυα ύδρευσης, είναι σημαντική. Μάλιστα, η παραπάνω παραδοχή είναι άξια αναφοράς όχι μόνο σε επίπεδο θεωρίας αλλά κυρίως πράξης και αποτελεί ένα πρόβλημα που χρήζει άμεσης λύσης.

Στην πραγματικότητα, η διαδικασία με τη ρύθμιση της πίεσης στα συστήματα υδροδότησης διαδραματίζει έναν ουσιαστικό ρόλο στη διαχείριση των απωλειών νερού. Ακολουθώντας διάφορες σύγχρονες προσεγγίσεις αναφορικά με τις απώλειες του νερού και κυρίως με τον όγκο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

τους γίνεται σαφές πως αυτό εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους. Κάποιες εξ αυτών περιγράφονται παρακάτω (IWA 2000):

- Η διαχείριση της πίεσης,
- Η ενεργός έλεγχος των διαρροών,
- Η ορθή λειτουργία και συντήρηση σωλήνων και συσκευών,
- Η ταχύτητα και η ποιότητα επισκευών.

Παράλληλα, η διαρκής αλλά κυρίως η ουσιαστική συντήρηση των σωληνώσεων επηρεάζει τις νέες διαρροές που προκύπτουν, ενώ αντίθετα, διαχειρίζοντας την πίεση μπορεί να επηρεαστεί η εμφάνιση νέων διαρροών και οι ρυθμοί απωλειών νερού του από τις διαρροές αυτές. Άλλα στοιχεία, εξίσου σημαντικά είναι η ποιότητα και η ταχύτητα της επισκευής και σχετίζονται με τη μέση χρονική διάρκεια κάθε διαρροής, ενώ από τον ενεργό έλεγχο διαρροών διαμορφώνεται το χρονικό διάστημα μεταξύ της δημιουργίας και του εύρεσης της διαρροής.

Συνεπώς στη μείωση των πραγματικών απωλειών, σημαντική και άμεση επίδραση έχει η διαχείριση της πίεσης. Παρακάτω γίνεται αναφορά στα ουσιαστικότερα πλεονεκτήματα της διαχείρισης της πίεσης λειτουργίας των δικτύων και περιορισμού των διαρροών:

- Η βελτίωση της ποιότητας του νερού
- Η ελάττωση των θραύσεων των αγωγών, (που σημαίνει μικρότερο συνολικό κόστος των εργασιών επισκευής)
- Η μεγάλη εξοικονόμηση του νερού με πολλά περιβαλλοντικά οφέλη
- Η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των αγωγών
- Η μείωση των διαρροών που είναι δύσκολη η ανίχνευση τους (αφανείς διαρροές)
- Η μείωση των διαρροών κατά τη σύνδεση φλαντζών ή συγκολλητών διατάξεων)
- Ο περιορισμός μεταβατικών ροών μέσα στους αγωγούς
- Η μείωση της κατανάλωσης με άμεση εξάρτηση από την πίεση

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί πως ναι μεν η διαχείριση της πίεσης, σύμφωνα με την κοινή πρακτική και εμπειρία, μειώνει σημαντικά τις πραγματικές απώλειες, έχει δε και συνέπειες στον τρόπο αντιμετώπισης των απωλειών. Με λίγα λόγια, εξαιτίας της μείωσης της πίεσης, καθώς ελαττώνεται ο θόρυβος από τις διαρροές, ο ενεργός έλεγχος των διαρροών δυσκολεύει, με αποτέλεσμα ο εντοπισμός τους από την επιφάνεια να είναι πιο περίπλοκος. Παράλληλα, ελλοχεύει ο κίνδυνος, να μην είναι αρκετή η πίεση σε κάποιες περιοχές του δικτύου, με μεγάλη μείωση κατά τις ώρες αιχμής, με αποτέλεσμα τη μη ικανοποιητική εξυπηρέτηση των καταναλωτών.

2.12. Οικονομικά οφέλη διαχείρισης πίεσης

Οι απώλειες σε ένα σύστημα ύδρευσης αποτελεί στοιχείο σχεδόν δεδομένο που κάθε σχετικός οργανισμός πρέπει να αναμένει ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την ηλικία του δικτύου που διαχειρίζεται. Δυστυχώς, πολύ μεγάλο μέρος των αγωγών βρίσκονται στο υπέδαφος και είναι αδύνατος ο εντοπισμός όλων των διαρροών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Έτσι, λοιπόν, αν σ' ένα δίκτυο το οποίο έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις τόσο σε επίπεδα πίεσης όσο και ζήτησης, έχουν διαχειριστεί με ορθό τρόπο ζητήματα σχετικά της πίεσης αλλά και των πιθανών απωλειών, τα πλεονεκτήματα που ανακύπτουν είναι αρκετά. Μερικά από αυτά περιγράφονται παρακάτω:

- Η αποδοτικότερη τιμολόγηση και αύξηση εσόδων. Η σαφής κατανάλωση επιτρέπει ειλικρινή και τίμια τιμολόγηση, διορθώνοντας έτσι την παρεξηγημένη σχέση μεταξύ παρόχου και καταναλωτή.
- Η βελτιωμένη ποιότητα του ύδατος. Ο μικρότερος αριθμός διαρροών του δικτύου θα μειώσουν την πιθανότητα ρύπανσης.
- Μειωμένη αναλογικά ποσότητα χλωρίου και άλλων χημικών ή πόρων για την υγειονομική προετοιμασία του νερού καθώς ελαχιστοποιείται ο εισερχόμενος όγκος των συστημάτων.
- Μειώνοντας τις απώλειες μειώνουμε και τις αντλούμενες ποσότητες και άρα έχουμε λιγότερες ενεργειακές δαπάνες ήτοι περιορισμό των λειτουργικών εξόδων της εταιρείας. Επισημαίνεται πως η ζήτηση των καταναλωτών παραμένει σταθερή και δεν υποβαθμίζεται η κάλυψή της.
- Αποφυγή μη αναγκαίων επεκτάσεων και επεμβάσεων στα δίκτυα παροχής και διανομής. Έτσι έχουμε επέκταση της λειτουργικής ζωής ενός δικτύου.
- Οι παρεχόμενες υπηρεσίες είναι αποδοτικές και αξιόπιστες. Επαρκής παροχή και πίεση για το σύνολο των καταναλωτών ανά πάσα στιγμή.

2.13. Στεγανές υποζώνες (DMAs – District Metered Areas)

Η σύλληψη της ιδέας αλλά κυρίως η εφαρμογή των υδραυλικά απομονωμένων περιοχών (DMAs) μας πηγαίνει πίσω στη δεκαετία του 1980-1990 όταν βρετανικές εταιρείες ύδρευσης θέλησαν να αναπτυχθούν σε ευρωπαϊκές χώρες αλλά και αργότερα σε ορισμένες στην λατινική Αμερική.

Αν θα θέλαμε να δώσουμε έναν ορισμό στις DMA, θα λέγαμε πως αφορά σε «μια σαφώς καθορισμένη, υδραυλικά διαχωρισμένη περιοχή του συστήματος διανομής (δίκτυο ύδρευσης) όπου μετρούνται οι εισροές και οι εκροές» Για να διαχωριστούν αυτές οι περιοχές, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες βαλβίδες απομόνωσης. Σε πολλές περιπτώσεις, μια DMA έχει ένα σημείο εισόδου και από καμία έως πολλές εξόδους, όμως σε κάθε περίπτωση οι ποσότητες που εισέρχονται και εξέρχονται μετρούνται. Ιδανικά, κάθε στεγανή μετρούμενη υποζώνη έχουμε έναν κόμβο εισόδου όπου εγκαθίσταται το απαραίτητο παροχόμετρο και εντός της ζώνης εξυπηρετούνται από 500 έως 3000 υδρόμετρα.

Μετά τον ορισμό και την εφαρμογή μιας DMA, η ανάλυση της αποτελεσματικότητάς της επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το επίπεδο διαρροής σε κάθε DMA και κατά πόσον απαιτούνται ή όχι μέτρα για τη μείωσή της. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή μπορεί να συγκρίνει τα επίπεδα διαρροής μεταξύ αυτών των περιοχών του δικτύου και να εκτιμήσει πού θα ήταν πιο αποδοτικό να εφαρμοστούν μέτρα ελέγχου των απωλειών. Τέλος, η ανάλυση αυτή καθιστά δυνατή την ανθρώπινη παρέμβαση όπου εντοπίζεται ένα πρόβλημα, χωρίς να προκαλείται όχληση ή στέρηση παροχής στο δίκτυο συνολικά.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

2.13.1. Εφαρμογή των DMAs και προβλήματα

Σκοπός της DMA είναι να διαιρέσει το δίκτυο σε τμήματα ελεγχόμενης λειτουργίας, στα οποία η εισερχόμενη ποσότητα και η κατανάλωση μετρούνται με μεγάλη ακρίβεια και επιτρέπεται η εφαρμογή τακτικών ανίχνευσης διαρροών και μη εξουσιοδοτημένων χρήσεων.

Η υλοποίηση των παραπάνω, πραγματοποιείται συλλέγοντας τα δεδομένα παροχών και καταναλώσεων και αντιπαραβάλλοντάς τα επάνω σε ψηφιακό υπόβαθρο χαρτογραφημένου δικτύου. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει τη μείωση του χρόνου εντοπισμού προβλημάτων και κατά συνέπεια τη μείωση της απώλειας νερού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συνολική ποσότητα νερού που χάνεται από μια διαρροή ή ρήξη ισούται με το γινόμενο του ρυθμού διαρροής επί το χρόνο που απαιτείται από την εταιρεία διαχείρισης να εντοπίσει και να επιληφθεί μιας διαρροής. Επομένως, όσο πιο συχνά αναλύονται τα δεδομένα (καθώς η ποσότητα των πληροφοριών κατανέμεται κατάλληλα σε κάθε DMA), τόσο λιγότερος χρόνος χρειάζεται για τον εντοπισμό του προβλήματος και επομένως τόσο λιγότερο νερό χάνεται.

2.13.2. Προβλήματα κατά την εφαρμογή των DMAs

Η διαίρεση του δικτύου ύδρευσης σε DMAs και η εφαρμογή μεθόδων διαχείρισης των απωλειών έχει αποφέρει πολλά οφέλη και αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Ωστόσο, υπάρχει ένας σημαντικός αντισταθμιστικός παράγοντας που δεν μπορεί να υποτιμηθεί, τόσο εν μέρει όσο και συνολικά. Αφορά την ποιότητα του νερού που παρέχεται και τις επιπτώσεις της ρύθμισης της πίεση και των υδραυλικών αποκλεισμών σε αυτή.

Για την υλοποίηση περιφερειακών ζωνών μέτρησης, πρέπει να υπάρχουν αποτελεσματικές βαλβίδες διακοπής στα όριά τους, δημιουργώντας νεκρά σημεία στο δίκτυο. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων γεύσης και οσμής στο νερό και μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μείωση του υπολειμματικού χλωρίου. Αυτό το πρόβλημα ποιότητας νερού μειώνει την αξιοπιστία της υπεύθυνης εταιρείας ύδρευσης, ιδιαίτερα στη γενική αντίληψη του καταναλωτικού κοινού, καθώς τα προβλήματα με τη μυρωδιά ή τη γεύση της παροχής νερού μπορούν εύκολα να εντοπιστούν.

2.13.3. Απαιτούμενα μέτρα κατά τον σχεδιασμό των DMAs

Κατά το σχεδιασμό των DMA, τα προβλήματα ποιότητας του νερού μπορούν να επιλυθούν με διάφορους τρόπους και το βάρος τους δεν μπορεί ποτέ να συγκριθεί με τις απώλειες. Για την αποφυγή πιθανών προβλημάτων ποιότητας, πρέπει να λαμβάνονται τα ακόλουθα μέτρα:

- Να τοποθετούνται κατά το σχεδιασμό οι μεγάλοι καταναλωτές (π.χ. ξενοδοχεία) στα άκρα για να διατηρείται το νερό φρέσκο εντός των DMAs.
- Οι συνοριακές βαλβίδες αποκλεισμού να ανοίγουν σε λογικά χρονικά διαστήματα ώστε η πίεση να αυξάνεται ταυτόχρονα. (flushing programme)
- Οι πολλές κλειστές βάνες αποκλεισμού μπορούν να αποφευχθούν
- Να γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι για τη διακοπτόμενη παροχή

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα κριτήρια που απορρέουν από τον αρχικό σχεδιασμό του δικτύου
- Να γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι για τη χαμηλή πίεση του δικτύου
- Διασφάλιση της τακτικής συντήρησης και της ακεραιότητας των ορίων των DMA-s σε πρακτικό επίπεδο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ποιότητα Του Νερού Στο Δίκτυο Και Ηλικία

3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλικία

Η ηλικία νερού ενός δικτύου διανομής είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά του νερού από την πηγή στον καταναλωτή. Χρησιμοποιώντας ορισμένα υδραυλικά μοντέλα επιτυγχάνεσαι ο υπολογισμός της με έμμεσο τρόπο. Καθώς το νερό φτάνει σ' εμάς μέσω του συστήματος διανομής, υφίσταται χημικούς εμπλουτισμούς που το υποβαθμίζουν ποιοτικά. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που προκαλούν αυτούς τους μετασχηματισμούς είναι το μήκος των σωλήνων, οι αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ ροής νερού και τοιχωμάτων των αγωγών και η ταχύτητα του νερού στο δίκτυο. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι ο χρόνος παραμονής σε μία δεξαμενή έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα του νερού καθώς και στην ηλικία του νερού.

Γενικότερα, ο όρος «ηλικία των υδάτων» αναφέρεται σε έναν από τους πιο ευρέως αναγνωρισμένους δείκτες της ποιότητας των υδάτων. Μικρή ηλικία νερού, σηματοδοτεί υψηλή ποιότητα νερού σ' ένα δίκτυο.

Έτσι, λοιπόν, η ηλικία επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- Συνολική και τοπική ζήτηση: Όσο μεγαλύτερη η ζήτηση του νερού, τόσο αυξάνονται οι ταχύτητες ροής στο δίκτυο, μειώνοντας κατά συνέπεια την ηλικία αντίστοιχα. Η ζήτηση εξαρτάται από τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται το νερό, π.χ. οικιακή, βιομηχανική ή εμπορική χρήση.
- καιρός: ευνοϊκός ή μη, για γεωργικές εργασίες και άρδευση
- το αν γίνεται ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού στην ευρύτερη κοινότητα και σε κάθε νοικοκυριό
- εφαρμογή τεχνικών ρύθμισης της πίεσης
- αποστάσεις μεταξύ δεξαμενών και μονάδων επεξεργασίας νερού. Όσο μακρύτερο είναι το δίκτυο μεταφοράς και διανομής νερού, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος βακτηριακής μόλυνσης (Gamache et al., 1988). Ωστόσο, υπάρχουν διάφοροι άλλοι λόγοι για την εμφάνιση μόλυνσης στο δίκτυο, όπως η λειτουργία σε επίπεδα πίεσης κάτω από τη μία ατμόσφαιρα, η ξαφνική διακοπή της λειτουργίας των σωληνώσεων του δικτύου, η ανεξέλεγκτη λειτουργία των αντλιών και η τακτική αλόγιστη χρήση των πυροσβεστικών κρουνών προφανώς για σκοπούς πέρα της πυρόσβεσης.
- εποχικότητα και οι χρονικές διακυμάνσεις της ζήτησης μέσα στο έτος.
- σχεδιασμός δικτύου από το επίπεδο της μελέτης εγκατάστασής του (π.χ. ακτινικό ή όχι, πλήθος σημείων εισαγωγής, έκταση, ικανότητα λειτουργίας για πυροπροστασία, διαθεσιμότητα δεξαμενών για βραχυχρόνια κάλυψη αναγκών στην περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας)
- την επιθυμητή βάση ετών προσδοκώμενης πληθυσμιακής ανάπτυξης, υπερδιαστασιολόγηση των τιμών του δικτύου, επιλέγοντας αγωγούς με διάμετρο μεγαλύτερη από την αναγκαία για την κάλυψη των αναγκών ενός συνεχώς αυξανόμενου αριθμού καταναλωτών μακροπρόθεσμα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

3.2. Επιπτώσεις της αύξησης της ηλικίας του νερού σε ένα δίκτυο

Οι κίνδυνοι που εντοπίζονται σε ένα δίκτυο νερού λόγω ηλικίας εντάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τους χημικούς και τους μικροβιολογικούς, κίνδυνοι που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

3.2.1. Χημικοί κίνδυνοι

Το νερό στη φύση κινδυνεύει να μολυνθεί χημικά από τοξικές ουσίες, όπως φυτοφάρμακα και βαρέα μέταλλα. Οι ουσίες αυτές επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία μέσω δηλητηρίασης, γαστρεντερίτιδας, αναιμίας, δερματικών διαταραχών, ηπατικών παθήσεων, νεφρικών παθήσεων, διαταραχών του κεντρικού νευρικού συστήματος, γενετικών ανωμαλιών και αναπτυξιακών διαταραχών στα παιδιά, νοητικής καθυστέρησης (ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εκτιμά πως το 3,5% της νοητικής υστέρησης στα παιδιά οφείλεται στα υπερβολικά επίπεδα μόλυβδου στο αίμα), ανοσοποιητικού συστήματος και κοκκιωμάτων κ.α.

Οι κτηνοτροφικές μονάδες και τα αστικά λύματα αυξάνουν ιδιαίτερα τις συγκεντρώσεις αμμωνίας, νιτρωδών, νιτρικών και φωσφορικών αλάτων στα φυσικά ύδατα. Σε αυτά περιλαμβάνονται το κάδμιο (μπαταρίες, κατασκευή ηλεκτρονικών ειδών, πλαστικά χρώματα), ο μόλυβδος (μπαταρίες, χρώματα, παραγωγή βενζίνης), ο υδράργυρος (χλωρίνη, κατασκευή ηλεκτρονικών ειδών), το τρισθενές και εξασθενές χρώμιο (δερμάτινα δέρματα, χρώματα, κατασκευή κεραμικών), το αρσενικό (ξυλουργία) και το κυάνιο (μεταλλουργία). Οι γεωργοί κατά τον εμπλουτισμό των εδαφών τους με υπερβολικές ποσότητες φυτοφαρμάκων, ρυπαίνουν τους υδροφόρους ορίζοντες μέχρι και μεγάλα βάθη, με ουσίες από ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα και νηματωδοκτόνα, ορισμένα από τα οποία είναι εξαιρετικά βλαβερά για τους υδρόβιους οργανισμούς και απειλούν την φυσική ισορροπία.

Τέτοιοι ρύποι όπως παραπάνω δεν θα έπρεπε να είναι ανιχνεύσιμοι στο πόσιμο νερό ή στην χειρότερη των περιπτώσεων να βρίσκονται κάτω τα μέγιστα επιτρεπτά όρια που έχουν καθοριστεί από τον ΠΟΥ και την πολιτεία προστατεύοντας τη δημόσια υγεία.

3.2.2. Βιολογικοί-Μικροβιολογικοί κίνδυνοι

Οι λοιμώξεις που προκαλούνται από μολυσμένο πόσιμο νερό από τα δίκτυα διανομής πόσιμου νερού μπορούν να εξαπλωθούν σε μεγάλους πληθυσμούς και να επηρεάσουν ευάλωτα τμήματα του πληθυσμού, όπως ανοσοκατεσταλμένα παιδιά, ηλικιωμένους, άτομα με διαβήτη ή άλλες χρόνιες ασθένειες και νόσους.

Η είσοδος παθογόνων μικροοργανισμών στα φυσικά νερά οφείλεται κυρίως σε κτηνοτροφικές και γεωργικές δραστηριότητες και στην απόρριψη αστικών λυμάτων. Η μικροβιακή μόλυνση μπορεί επίσης να προκληθεί από τη μετάδοση μικροοργανισμών από τα περιττώματα των κατοικίδιων ζώων και της άγριας πανίδας. Οι υδατογενείς, όπως ονομάζονται οι λοιμώξεις που προκαλούνται μέσω πόσιμου νερού ταξινομούνται ως παρασιτικές, βακτηριακές ή ιογενείς και προκαλούνται κυρίως από άμεση ή έμμεση μόλυνση με περιττώματα. Πρόκειται κυρίως για γαστρεντερίτιδα, αλλά μπορεί να είναι συστηματική και να προκαλέσει σοβαρά κλινικά συμπτώματα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οι βακτηριακοί παράγοντες που αποτελούν κύριες αιτίες ρύπανσης των υδάτων περιλαμβάνουν τα Campylobacter jejuni, Escherichia coli, Salmonella spp. (τύφος και παρατύφος, σαλμονέλωση), Shigella spp. (δυσεντερία, σύφιλη), Vibrio cholerae (χολέρα) και Yersinia enterocolitica. Οι αδενοϊοί, οι εντεροϊοί, ο ιός της ηπατίτιδας Α, οι νοροϊοί και οι ροταϊοί είναι οι πιο συνηθισμένοι ιοί που προκαλούν υδατογενείς ασθένειες. Μεταξύ των παρασίτων, οι λοιμώξεις που προκαλούνται από πρωτόζωα όπως η Entamoeba histolytica, η Giardia lamblia και το Cryptosporidium spp. είναι οι πιο συχνές. Ο κατάλογος των παθογόνων αυξάνεται συνεχώς με την εξέλιξη των τεχνικών μικροβιολογικής απομόνωσης και την εφαρμογή επιδημιολογικής επιτήρησης από τις αρμόδιες κρατικές αρχές.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα προβλήματα ποιότητας του νερού που επιδεινώνονται καθώς το νερό στο δίκτυο διανομής υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου.

Πίνακας 3 Η αύξηση ηλικίας και οι επιπτώσεις της

Χημικές Επιπτώσεις	Βιολογικές Επιπτώσεις	Φυσικές Επιπτώσεις
Σχηματισμός παραπροϊόντων απολύμανσης	Βιοαποικοδόμηση υποπροϊόντων απολύμανσης	Αύξηση θερμοκρασίας
Μείωση απολυμαντικής δράσης	Ανάκτηση μικροβίων	Εναπόθεση ιζημάτων
Επιπτώσεις ως προς την οσμή και τη γεύση του νερού	Δυσοσμία του νερού	Αλλαγή στο χρώμα

Είναι προφανές πως παραπάνω απεικονίζονται πολλές από τις συνέπειες που έχει στην ανθρώπινη υγεία το κακής ποιότητας νερό.

Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) έχει εντοπίσει και αντιμετωπίσει κατάλληλα το ενδεχόμενο δυσμενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία που συνδέονται με το σχηματισμό αλογονοξικών οξέων (HAA5) και τριαλογονομεθανίων (THM), τα οποία είναι παραπροϊόντα της απολύμανσης. Συγκεκριμένα, η επίσημη ανακοίνωση της EPA αναφέρει ότι: "Μερικοί άνθρωποι που καταναλώνουν εδώ και πολλά χρόνια νερό που περιέχει αλογονοξικά οξέα πέραν των επιτρεπτών θεσπισμένων επιπέδων συγκέντρωσης τους (MCL: Maximum Contaminant Level) μπορεί να έχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου, ή να αντιμετωπίζουν προβλήματα με το συκώτι, τα νεφρά και νευρικό τους σύστημα".

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

3.3. Συστατικά Μη Ανταποδοτικού Νερού

Η ποιότητα των υδάτων είναι ένα θέμα που έχει μελετηθεί και θα συνεχίσει να μελετάται καθώς προβληματίζει σε μεγάλο βαθμό όλες τις εταιρείες ύδρευσης σε παγκόσμιο επίπεδο όπως άλλωστε συμβαίνει και με τους καταναλωτές. Ο Jeffrey R. Cruickshank έχει δημοσιεύσει άρθρο που περιγράφει τις πιο αποτελεσματικές και εύκολες στην εφαρμογή διαδικασίες για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού σε υφιστάμενα δίκτυα ύδρευσης. Αυτά είναι (Opflow AWWA, 2010):

- **Έκπλυση του συστήματος διανομής με άνοιγμα των συνοριακών βαλβίδων αποκλεισμού ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης**. Ωστόσο, το ζήτημα της ποσότητας του νερού που πρέπει να σπαταληθεί και του κατά πόσον μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλού, προκαλεί μεγάλη ανησυχία.
- **Έκχυση περιορισμένων κι ελεγχόμενων ποσοτήτων νερού σε συγκεκριμένες θέσεις κυρίως στα όρια των υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών του δικτύου όπου και συναντάμε κλειστές βαλβίδες ή αγωγούς**. Ωστόσο, η παρουσία νερού σε αυτά τα σημεία μπορεί να προκαλέσει υπερπίεση των σωληνώσεων και συνιστάται να συνοδεύεται από την εγκατάσταση βαλβίδων ελέγχου της πίεσης.
- **Ανανέωση του όγκου νερού της δεξαμενής με βοήθεια αντλιών**. Οι δεξαμενές που αποθηκεύουν νερό για μεγάλα χρονικά διαστήματα, δεν ανανεώνονται ανάλογα με τη ζήτηση και μπορεί τελικά να επηρεάσουν τη γήρανση του νερού όχι μόνο στις δεξαμενές αλλά και παρακάτω από αυτές. Χρησιμοποιώντας ένα υδραυλικό μοντέλο, αποδείχθηκε ότι η άντληση προσομοιώνει τις αλλαγές στον όγκο του νερού στις δεξαμενές και τελικά μειώνει τη γήρανση του νερού στο δίκτυο. Αυτή η ανάμιξη των όγκων νερού στις δεξαμενές μειώνει τη θερμοκρασία του νερού και μειώνει τη συγκέντρωση του στάσιμου νερού, έτσι ώστε ο κύκλος του νερού να είναι ενεργός και όχι παθητικός. Ωστόσο, το ενεργειακό κόστος πρέπει να ληφθεί υπόψη, αλλά θεωρείται μικρό σε σύγκριση με τα οφέλη που αποφέρει.
- **Βελτιστοποίηση των αντλιών ταχυτήτων (Variable-Speed Pumps**). Ο χειρισμός των αντλιών πρέπει να γίνεται ανάλογα με την πίεση και τον όγκο του νερού από τη δεξαμενή. Οι σωστά ρυθμισμένες αντλίες και οι καλά μελετημένες αλλαγές ταχύτητας μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη γήρανση του νερού στο δίκτυο.
- **Χρήση βαλβίδων ελέγχου (Control Valves)** σε δεξαμενές για τη χειροκίνητη ρύθμιση της στάθμης του νερού, ώστε να μη συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να μειώσει τη γήρανση του νερού έως και 60%.
- **Αλλαγές στις μεθόδους λειτουργίας, στην κατεύθυνση της ροής και στη ρύθμιση της πίεσης**. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση ειδικών βαλβίδων απομόνωσης ή βαλβίδων μείωσης της πίεσης (PRV).
- **Ελαχιστοποίηση του αριθμού των καταληκτικών αγωγών σε ένα δίκτυο**. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τη δημιουργία νέων αγωγών για τη σύνδεση των καταληκτικών κόμβων με το υπόλοιπο δίκτυο είτε με την εξάλειψη του δυνητικού όγκου στάσιμου νερού στους κόμβους αυτούς. Ωστόσο, οι διαδικασίες αυτές είναι πολύ δαπανηρές. Η αντικατάσταση των κεντρικών δικτύων με μικρότερα είναι επίσης ένα ευνοϊκό μέτρο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Κατάλληλη διαστασιολόγηση των δεξαμενών αποθήκευσης που λαμβάνονται υπόψη στις απαιτήσεις του δικτύου όσον αφορά τη ζήτηση και την πίεση. Η υπερδιαστασιολόγηση οδηγεί σε μειωμένη ροή και στασιμότητα του νερού σε πολλές περιοχές, οδηγώντας σε αυξημένη γήρανση.
- Χρήση πολλαπλών εισόδων νερού στο δίκτυο ύδρευσης. Η διαδικασία αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, αλλά ο βασικός παράγοντας είναι η ηλικία του νερού. Πρόσθετες εισροές στο δίκτυο μπορούν να μειώσουν την ηλικία του νερού και να βελτιώσουν την ποιότητα του νερού.

3.4. Παραδείγματα διαφοροποίησης της ηλικίας του νερού

Παρακάτω γίνεται προσπάθεια να περιγραφούν συνοπτικά 4 «ακραίες» όπως έχουν χαρακτηριστεί περιπτώσεις που "διηγούνται" τις διαφορές στην ηλικία του νερού ως αποτέλεσμα των παραπάνω παραγόντων.

- Σε μια περιοχή της Καλιφόρνια, όπου εξυπηρετούνταν από καταληκτικούς αγωγούς, υπολογίστηκε ότι η ηλικία του νερού ξεπερνούσε τις 400 (!) ώρες σε ορισμένες περιοχές. (Acker & Kraska 2001)
- Στις βόρειες πολιτείες των ΗΠΑ, κοντά στο Οχάιο, η υδραυλική μοντελοποίηση υπολόγισε ότι η ηλικία του νερού ολόκληρου του δικτύου ήταν μικρότερη από 80 ώρες, αλλά σε ορισμένες τοποθεσίες είχαν ηλικία άνω των 150 ωρών. Το δίκτυο εξυπηρετούσε 800.000 καταναλωτές. (Vendermeyden & Hartman, 2001)
- Στον Καναδά, η υδραυλική μοντελοποίηση αποκάλυψε ότι ορισμένοι αδιέξοδοι κόμβοι είχαν ηλικία νερού που κυμαινόταν από 300 έως 600 ώρες. Το δίκτυο εξυπηρετούσε μόνο 24.000 καταναλωτές. (Prentice, 2001)
- Οι ανιχνευτές φθορίου που είναι εγκατεστημένοι στο δίκτυο διανομής νερού της Βόρειας Καρολίνας χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της γήρανσης του νερού από συνολικά 2 έως 75 ώρες. Το δίκτυο εξυπηρετούσε 300 000 καταναλωτές. (DiGianoetal., 2000)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Η Ευρωπαϊκή Και Εθνική Νομοθεσία Για Τη Διαχείριση Των Υδατικών Πόρων

4.1. Διεθνείς Συμβάσεις

Ένα ζήτημα που απασχολεί όλο και περισσότερο την παγκόσμια κοινή γνώμη σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με αυτό που αποκαλείται ως αειφορία ή αειφόρος ανάπτυξη. Ένας προσφιλής ορισμός που δίνεται για τον εν λόγω όρο αναφέρει πως η αειφόρος ανάπτυξη σχετίζεται με τη μέριμνα που λαμβάνει χώρα στο παρόν για να προστατευθούν οι μελλοντικές γενιές ώστε αυτές με τη σειρά τους να μπορέσουν να ικανοποιήσουν και να καλύψουν τις ανάγκες τους. Ο όρος αυτός στην πραγματικότητα ξεκίνησε να εδραιώνεται μετά και τη διάσκεψη του Ρίο που έλαβε χώρα το 1992.

Η αειφόρος ανάπτυξη, πλέον έρχεται ως απαραίτητη προϋπόθεση με σκοπό να ανταποκριθεί το σύνολο της ανθρωπότητας στους περιορισμούς που επιβάλλει η ίδια η φύση. Σημαντικοί σταθμοί σε αυτήν την εξέλιξη αποτελούν τα συνέδρια στο Ρίο, τη Νέα Υόρκη και το Γιοχάνεσμπουργκ κατά τα οποία η διεθνής κοινότητα προσπάθησε να καλύψει την ανάγκη για ένα βιώσιμο περιβάλλον που θα εξασφαλίζει όχι μόνο το παρόν αλλά και το μέλλον που αφορά στις επόμενες γενιές.

Κάλλιστα, θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος πως η έννοια της βιωσιμότητας πλέον όχι μόνο αποτελεί ένα από τα θέματα της επικαιρότητας αλλά θεωρείται και ως ιδιαίτερα φλέγον μιας και συνδέεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με τις έννοιες της ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής πολιτικής και της διεθνούς και εθνικής συνεργασίας.

Η διεθνής συνεργασία που περιγράφεται παραπάνω πραγματοποιείται από ένα ευρύ φάσμα οργανισμών και φορέων που ασχολούνται με την οικονομία, τη διαχείριση, την προστασία και τη χρήση των υδάτινων πόρων σε όλο τον κόσμο, όπως το Παγκόσμιο Συμβούλιο Υδάτων, το Διεθνές Υδρολογικό Πρόγραμμα της Unesco, η Επιτροπή του ΟΗΕ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, η Επιτροπή Περιβάλλοντος της Οικονομικής Επιτροπής για την Ευρώπη, του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και πολλών άλλων. Αποτέλεσμα της παραπάνω διεθνούς συνεργασίας για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και των υδάτινων πόρων είναι οι συνθήκες που υπέγραψαν οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, η Ρωσία και η Ινδία, οι οποίες ακολουθούν παρακάτω:

- Σύμβαση για τους υγροτόπους διεθνούς σημασίας (Ramsar Convention, 1971) για τη χρήση και την ορθολογική διαχείριση των υγροτόπων και των υδάτινων πόρων.
- Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS, 1973-1982) σχετικά με το θεσμικό πλαίσιο για τη θάλασσα.
- Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία (1973), Σύμβαση για την πρόληψη και τη μείωση των εκπομπών ρύπων από πλοία.
- MARPOL 73/78 (θαλάσσια ρύπανση) Σχετίζεται με τα όρια ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- Διάσκεψη για την ερημοποίηση (UNCOD, 1977), που ασχολήθηκε με την ερημοποίηση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Σύμβαση για την πρόληψη της διασυνοριακής ρύπανσης από επικίνδυνα απόβλητα και τη διάθεσή τους (Basel, 1989)
- Σύμβαση για τα ύδατα σχετικά με τη χρήση και τη διαχείριση των διασυνοριακών ποταμών και λιμνών και τις διασυνοριακές πολιτικές (Helsinki, 1992)
- Διάσκεψη για το περιβάλλον και την ανάπτυξη (UNCED, Rio de Janeiro, 1992)- Διακήρυξη του Ρίο για το περιβάλλον και την ανάπτυξη - Ατζέντα 21 - Σύμβαση-πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή (1992)- Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της στους ανθρώπους και η ορθολογική χρήση των υδάτινων πόρων (ΟΗΕ, 2010).

4.2. Το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο

Ένα από τα θέματα που συνδέονται με την προστασία του περιβάλλοντος είναι η προστασία των υδάτινων πόρων και του υδάτινου περιβάλλοντος εν γένει. Διάφοροι θεσμοί και οργανώσεις ανά τον κόσμο θεωρούν το νερό σημαντική κληρονομιά που μεταβιβάζεται από γενιά σε γενιά και έτσι τόσο οι πολίτες όσο και οι πολιτικοί ιθύνοντες οφείλουν να το προστατεύουν. Μία ερμηνεία που δίνεται στην εν λόγω «παγκόσμια υποχρέωση» σχετίζεται με την αυξανόμενη ζήτηση του νερού. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαία η υποχρέωση εφαρμογής βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδάτινων πόρων, οι οποίες για να έχουν επιτυχή κατάληξη χρειάζονται έναν σωστό σχεδιασμό, χρηστές μεθόδους κατά την υλοποίηση αλλά κυρίως τη βέλτιστη λειτουργία έργων υποδομών και παρεμβάσεων διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν τα μέτρα που λαμβάνονται για την εξοικονόμηση αλλά και την επαναχρησιμοποίηση του νερού.

Βέβαια, η εφαρμογή μιας ορθολογικής αναπτυξιακής πολιτικής πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και τη διαχείριση ακραίων φαινομένων και κρίσεων, όπως πιθανά πλημμυρικά φαινόμενα και καταστάσεις λειψυδρίας. Επίσης θα πρέπει να ορίζει μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς στόχους, όπως η μακροχρόνια προστασία των υδάτων και των σχετικών οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και των οικολογικών συνθηκών και φυσικά η σταδιακή μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων και των επικίνδυνων αποβλήτων. (ΥΠΕΝ, χ.χ.).

4.2.1. Βασικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες σχετικά με το νερό

Στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος και κυρίως του υδατικού και υδάτινου στοιχείου, πολλά μέτρα έχουν ληφθεί υπό την μορφή οδηγιών στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Κάλλιστα, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί πως η γενικότερη νομοθεσία της Ε.Ε για την προστασία της ποιότητας των υδάτινων πόρων της υπήρξε σημαντική.

Συνοπτικά, τα μέτρα ταξινομούνται ως "δύο γενιές" οδηγιών. Ειδικότερα, οι οδηγίες "πρώτης γενιάς" από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 έως τη δεκαετία του 1990 επικεντρώθηκαν στον καθορισμό προτύπων για το πόσιμο νερό, τα ύδατα κολύμβησης, το θαλασσινό νερό, τα υπόγεια ύδατα και τα επιφανειακά ύδατα που χρησιμοποιούνται για την παροχή πόσιμου νερού. Οι οδηγίες δεύτερης γενιάς επικεντρώθηκαν κυρίως στις πηγές ρύπανσης και στον έλεγχο της ρύπανσης ως

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

μέσο επίτευξης των προτύπων ποιότητας. Οι σημαντικότερες κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με το νερό και την ποιότητά του παρουσιάζονται παρακάτω (Haralambous, 2013):

Οδηγία 75/440/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 16ης Ιουνίου 1975 περί της απαιτουμένης ποιότητος των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα κράτη μέλη: Η προστασία επιφανειακών υδάτων προορίζεται να βοηθήσει στην άντλησή τους. Εισήγαγε τον ορισμό τυπικών μεθόδων επεξεργασίας για τη μεταφορά επιφανειακών υδάτων με σκοπό τη μετατροπή τους σε πόσιμο νερό. Καθόρισε τα χαρακτηριστικά των επιφανειακών υδάτων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων: Έχει ως στόχο την μείωση των ρύπων, στις εκβολές των ποταμών, στα παράκτια ύδατα και στα γλυκά ύδατα από βιομηχανικά και οικιακά λύματα. Αφορά τη συλλογή, επεξεργασία και διάθεση αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Ο νόμος απαιτεί από τα κράτη να έχουν πλήρη εποπτεία τόσο των απορρίψεων των σταθμών επεξεργασίας όσο και των απορρίψεών τους στα ύδατα υποδοχής. Τέλος, υποχρεώνει τα μέλη να δημιουργήσουν λίστες με «ευαίσθητες» και λιγότερο «ευαίσθητες» περιοχές όπου ρέουν επεξεργασμένα λύματα.

Οδηγία 91/676/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991 για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης: Στόχος είναι να μειώσει τη ρύπανση των υδάτων από νιτρικά άλατα στη γεωργία και να αποτρέψει την εμφάνιση παρόμοιων ρύπων στο μέλλον. Απαιτεί από τα μέλη να εντοπίζουν και να αποφεύγουν περιοχές που έχουν μολυνθεί με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών. Απαιτεί από κάθε αγρότη να υιοθετεί έναν κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής. Η οδηγία απαιτεί από κάθε χώρα να παρακολουθεί και να αναφέρει τις συγκεντρώσεις νιτρικών και ευτροφισμού κάθε τέσσερα χρόνια.

Οδηγία 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης: Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης. Στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις μέσω ενός συστήματος περιβαλλοντικών αδειών. Η αδειοδότηση βασίζεται σε εκπομπές των οποίων οι τιμές καθορίζονται από τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η οδηγία προβλέπει τη δημιουργία ενός «Ευρωπαϊκού Μητρώου Εκπομπών Ρύπων» στο οποίο πρέπει να καταχωρούνται όλοι οι γνωστοί φορείς εκπομπής ρύπων.

Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης: Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων θέτει πρότυπα για τη μικροβιολογική, χημική και οργανοληπτική ποιότητα για το πόσιμο νερό στη βρύση. Συνολικά 28 μικροβιολογικές και χημικές παράμετροι πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται τακτικά σύμφωνα με τα πρότυπα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Απαιτείται από τα κράτη μέλη να παρακολουθούν τακτικά την ποιότητα του πόσιμου νερού και να παρέχουν επαρκείς και ενημερωμένες πληροφορίες για το πόσιμο νερό στους καταναλωτές.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2007, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας: Το σχέδιο διαχείρισης πλημμυρών στοχεύει στη δημιουργία ενός πλαισίου για τους τρόπους με τους οποίους μια πλημμύρα μπορεί να επηρεάσει τις ζωές των ανθρώπων, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά, την οικονομία και τις υποδομές. Παρέχει αντιπλημμυρικά σχέδια και έργα προστασίας.

4.2.2. Η Οδηγία-Πλαίσιο για το νερό 2000/60/ΕΚ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ψήφισε μια καινοτόμο νομοθεσία για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, των αυξανόμενων ανθρώπινων απαιτήσεων για νερό και την κλιματική αλλαγή. Έτσι, στο πλαίσιο της προστασίας και διαχείρισης των υδάτων, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ, η οποία υιοθετεί μια ολιστική και μακροπρόθεσμη θεώρηση της ευρωπαϊκής διαχείρισης των υδάτων. Αυτό στην πραγματικότητα σημαίνει ότι η ίδια Ευρωπαϊκή Ένωση υποχρεώνει τα κράτη – μέλη της να υιοθετήσουν εφαρμογές που έχουν διάρκεια και να αντιμετωπίζουν τη διαχείριση του υδάτινου στοιχείου με τρόπο ολοκληρωμένο.

Ουσιαστικά, στην οδηγία αναφέρεται ότι το νερό δεν είναι σαν οποιοδήποτε άλλο εμπόρευμα, αλλά πρέπει να προστατεύεται και να αντιμετωπίζεται με τη δέουσα αξιοπρέπεια. (Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000).

Η οδηγία απαιτεί όλες οι διαδικασίες που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδάτινων σωμάτων να συμμορφώνονται με τις αρχές της βιωσιμότητας και, όταν εφαρμοστεί πλήρως, θα αντικαταστήσει όλη την προηγούμενη ευρωπαϊκή νομοθεσία. Η ανάπτυξη της οδηγίας της ΕΕ διήρκεσε περισσότερα από 10 χρόνια και περιλάμβανε έντονη επιστημονική και πολιτική συζήτηση μεταξύ των κρατών μελών. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι εξακολουθεί να υπάρχει μεγάλη ακαδημαϊκή συζήτηση σχετικά με την ερμηνεία της οδηγίας και, όπως δείχνει το σύστημα εφαρμογής που ακολουθεί, θα χρειαστούν πολλά ακόμη χρόνια για την εφαρμογή όλων των διατάξεών της. Ακολουθούν τα κύρια σημεία και οι στόχοι της οδηγίας.

Αρχές και στόχοι από την Οδηγία Πλαίσιο για το νερό 2000/60/ΕΚ

Η οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ περιλαμβάνει τρεις βασικούς καινοτόμους πυλώνες: οικολογία, διακυβέρνηση και οικονομία.

Οικολογία: Όλα τα συστήματα ύδρευσης θα πρέπει να είναι σε καλή οικολογική κατάσταση έως το 2015. Το νερό είναι φυσικός πόρος και όχι εμπορικό αγαθό και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να προστατεύεται και να χρησιμοποιείται κατάλληλα.

Διακυβέρνηση: Καθιέρωση νέων αρχών διαχείρισης των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Θα πρέπει επίσης να δημιουργηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης και εποπτείας των υδάτων, το οποίο θα προβλέπει την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στη λήψη αποφάσεων και θα τους ενημερώνει άμεσα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οικονομία: Τα συστήματα ύδρευσης πρέπει να προσπαθήσουν να ανακτήσουν πλήρως το κόστος των υπηρεσιών ύδρευσης και να δημιουργήσουν μια οικονομική ανάλυση για να χρεώσουν το πραγματικό κόστος του νερού, έως το 2010.

Οι αρχές που διέπουν την οδηγία και τα άρθρα του νόμου βασίζονται σε αυτούς τους πυλώνες. Η οδηγία αυτή, εξετάζει τη διαχείριση των υδάτων από διαφορετική οπτική γωνία, προωθεί μια νέα κουλτούρα διαχείρισης και επικεντρώνεται σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την εξοικονόμηση πόρων, την αποδοτικότητα και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Οι βασικές αρχές του κοινοτικού δικαίου σύμφωνα με την οδηγία είναι:

Μια βασική αρχή της οδηγίας, **η "αρχή της βιωσιμότητας"**, ορίζει ότι πρέπει να προωθείται η βιώσιμη χρήση των υδάτων, ώστε να προστατεύονται μακροπρόθεσμα οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι, όπως προαναφέρθηκε. Η αρχή αυτή βασίζεται στην ιδέα ότι η διαχείριση των πόρων θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εξαντλούνται και να μην υπερβαίνουν τη φέρουσα ικανότητα του οικοσυστήματος λόγω της εισαγωγής επιβλαβών ουσιών ή της κατανάλωσης φυσικών πόρων. Η κεντρική ιδέα της Οδηγίας είναι ότι τα παιδιά πρέπει να εκπαιδεύονται στα σχολεία για το πώς αξιοποιείται ακόμα και καταναλώνεται το νερό (Καραγεώργου, 2003).

Ισχύει η αρχή **«ο ρυπαίνων πληρώνει»**. Σύμφωνα με τις ισχύουσες νομικές αρχές, το πρόσωπο που προκάλεσε ζημία στο περιβάλλον υποχρεούται να αναλάβει το κόστος αποκατάστασης της ζημίας ή πρόληψης μελλοντικής ζημίας. (Παναγόπουλος, 2008).

Η αρχή του **«χρήστη που πληρώνει».** Πρόκειται για μια επέκταση της αρχής η ρύπανση πληρώνει, προσαρμοσμένη στον τομέα του νερού, επειδή δεν υπάρχει αρκετό νερό. Λέει ότι το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται ορθολογικά και για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα συλλογικό σύστημα που να αποτρέπει ή να αντιμετωπίζει οποιαδήποτε υποβάθμιση. (Χαϊνταρλής, 2005).

«Η αρχή της αναλογικότητας». Σύμφωνα με την αρχή αυτή, οι εκπομπές μιας εγκατάστασης σε μια περιοχή δεν θα πρέπει να χρεώνονται στον αποδέκτη σύμφωνα με μια σταθερή αξία αλλά να υπάρχει αναλογικότητα στη λογική χρέωσης. Η NPCA θέτει επίσης στόχους μείωσης των εκπομπών για τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις και ρυθμίζει τη δημιουργία νέων εγκαταστάσεων. (Γρίβα, 2005).

Η **«αρχή της πρόληψης»**. Η αρχή αυτή αποσκοπεί στην αποφυγή και την πρόληψη των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η πλήρης εφαρμογή αυτής της αρχής θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της διοίκησης στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος. (Παναγόπουλος, 2001).

Η οδηγία-πλαίσιο επαναπροσδιορίζει τον όρο «λεκάνη απορροής ποταμού» ώστε να περιλαμβάνει εξωτερικές επιφανειακές περιοχές, όπως ποτάμια, λίμνες, υπόγεια ύδατα και παράκτια οικοσυστήματα. Επίσης, υιοθετεί μια προσέγγιση για τον έλεγχο της ρύπανσης που θέτει όρια απόρριψης και στόχους για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας των υδάτων και εξετάζει όλες τις χρήσεις και υπηρεσίες νερού στο σύνολό τους, λαμβάνοντας υπόψη την αξία του νερού για το περιβάλλον, την υγεία, την ανθρώπινη κατανάλωση και τον τομέα της παραγωγής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Τέλος, ενθαρρύνεται και απαιτείται η συμμετοχή του κοινού και η δημοσιοποίηση των πληροφοριών στη διαδικασία διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Οι στόχοι της οδηγίας, όπως αναφέρεται στο άρθρο 1, είναι να σταματήσει η μόνιμη επιδείνωση της ποιότητας των υδάτων, να προστατευθούν και να βελτιωθούν οι υδάτινοι πόροι, να εξασφαλιστεί η μείωση των ρύπων στα υπόγεια ύδατα και να σταματήσει η περαιτέρω ρύπανση, να αξιολογηθούν οι ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι και ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός έργων για την προστασία τους, καθώς και να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Το άρθρο 9 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ

Το άρθρο 9 της οδηγίας χρήζει ιδιαίτερης παρατήρησης ως μία από τις καινοτόμες προτάσεις. Πράγματι, είναι η πρώτη φορά που η ανάκτηση του κόστους των επιχειρήσεων ύδρευσης προβλέπεται σε ευρωπαϊκή οδηγία που καθορίζει γενικές πολιτικές τιμολόγησης. Η πλήρης ανάκτηση κόστους για το νερό βασίζεται στην απλή λογική ότι η ποσότητα νερού που αντλείται από τους φυσικούς πόρους έχει αρνητικό αντίκτυπο τόσο στην "αυτοκάθαρση" των πόρων όσο και στο υδατικό τους ισοζύγιο. Η ποσότητα νερού που αντλείται από έναν υδάτινο πόρο πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της στην αρχική ποιότητα και ποσότητα του πόρου.

Οι αρχές της οδηγίας περιλαμβάνουν το κόστος της διατήρησης της επαρκούς ποιότητας του νερού, το τίμημα που πρέπει να πληρώσουν οι χρήστες λόγω των μειωμένων δυνατοτήτων που αφήνονται σε άλλους χρήστες, καθώς και το κόστος της διατήρησης και βελτίωσης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτινων πόρων. Το κόστος του νερού περιλαμβάνει το άμεσο κόστος, το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος των φυσικών πόρων. Αυτές οι τρεις συνιστώσες της χρήσης νερού είναι δυναμικές και έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με παράγοντες όπως η εποχή του έτους, η περιοχή, η πυκνότητα του πληθυσμού και η οικονομική δραστηριότητα κ.α. (Kanakoudis et al., 2012).

Το άμεσο κόστος (CF) περιλαμβάνει τις δαπάνες που πραγματοποιούνται από το δίκτυο διανομής νερού για την παροχή επαρκούς και υψηλής ποιότητας νερού στους καταναλωτές. Σε αυτά περιλαμβάνονται: οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου, όπως η εργασία, η ενέργεια, τα χημικά, τα υλικά και οι άλλες δαπάνες, οι διοικητικές δαπάνες, όπως οι αμοιβές διαχείρισης, και οι ετήσιες κεφαλαιακές δαπάνες, όπως οι νέες επενδύσεις και η απόσβεση της υπάρχουσας υποδομής. Το άμεσο κόστος περιλαμβάνει το ατομικό κόστος, το οποίο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διαχείρισης του δικτύου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το χωρικό και χρονικό κόστος επισκευής ή αντικατάστασης αγωγών δικτύου και οι διαφορές στα ποσοστά αστοχίας. Προκειμένου να εκτιμηθεί δίκαια το άμεσο κόστος της υπηρεσίας, απαιτείται ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος του δικτύου με τη χρήση κατάλληλων μοντέλων για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης, π.χ. πότε πρέπει να αντικατασταθεί ο σωλήνας. Επομένως, είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς πώς η χρήση τέτοιων μοντέλων μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του δικτύου. Τα μοντέλα αυτά είναι μοντέλα προσομοίωσης υδραυλικών δικτύων, τα οποία εξετάζονται λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο. (Kanakoudis et al., 2012).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Το περιβαλλοντικό κόστος (ΠΚ) αντικατοπτρίζει τις ζημιές που προκαλούνται από τα συστήματα διανομής νερού και τις τεράστιες ποσότητες αποβλήτων που επηρεάζουν άμεσα το περιβάλλον και έμμεσα τους χρήστες. Μέχρι στιγμής, οι πολιτικές ανάκτησης του περιβαλλοντικού κόστους υπολογίζονταν μέσω φόρων και προστίμων για τις υπηρεσίες παροχής γλυκού νερού και διάθεσης αποβλήτων που περιλαμβάνονταν στα τιμολόγια ύδρευσης. Επιπλέον, έχουν εμπλακεί ανενημέρωτοι πολιτικοί, με αποτέλεσμα παράλογες πολιτικές που απέτυχαν να ανακτήσουν πλήρως το περιβαλλοντικό κόστος. Η βασική αρχή της Οδηγίας Πλαισίου είναι ότι η περιβαλλοντική ζημία ισούται με το κόστος που απαιτείται για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος στην αρχική του κατάσταση, με βάση την υπόθεση ότι η χαμηλότερη αξία ενός περιβαλλοντικού πόρου ισούται με το κόστος προστασίας του (Kanakoudis et al., 2012).

Το κόστος των φυσικών πόρων (CFR) έχει δύο έννοιες: Πρώτον, είναι η έκταση της γης που πλήττεται από την ξηρασία. Το κόστος των φυσικών πόρων είναι τα οφέλη που χάνονται ως αποτέλεσμα της χρήσης του νερού. Ο δεύτερος ορισμός χρησιμοποιείται σε πολλές χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης όπου η λειψυδρία δεν αποτελεί πρόβλημα. Εκεί το κόστος των φυσικών πόρων προκύπτει όταν το νερό δεν χρησιμοποιείται βέλτιστα, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν διαθέσιμες ευκαιρίες που μπορούν να αποφέρουν μεγαλύτερα κέρδη. Το κόστος αυτό αντανακλά την απώλεια εισοδήματος λόγω της κακής κατανομής του νερού. (Kanakoudis et al., 2012).

Πίνακας 4 Το κόστος του νερού (Αζαριάδη, 2014)

Συνολικό κόστος του νερού		Χρηματοοικονομικό κόστος				Κόστος φυσικού πόρου	Περιβαλλοντικό κόστος
	Οικονομικό κόστος	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης δικτύου	Διοικητικό κόστος	Κόστος κεφαλαίου	Επιδοτήσεις	Κόστος ευκαιρίας εναλλακτικών χρήσεων (παρούσες/μελλοντικές)	Εξωτερικό κόστος υποβάθμισης περιβαλλοντικής ποιότητας
	Χρέωση στους χρήστες	Ανάλυση για κάθε χρήση: Ύδρευση (συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού), Άρδευση, Βιομηχανία,ανα Υδατικό Διαμέρισμα.					

Το συνολικό κόστος του νερού και των συστατικών του παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Γενικά, η τιμολογιακή πολιτική είναι ένα πολυδιάστατο ζήτημα που αποτελείται από πολλά στοιχεία. Αυτό καθιστά δύσκολο για τις υπηρεσίες ύδρευσης να αναπτύξουν μια δίκαιη τιμολογιακή πολιτική.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οδηγία 2000/60/ΕΚ: Χρονοδιάγραμμα Εφαρμογής

2000: Έναρξη ισχύς της οδηγίας, άρθρο 25.
2001: Έκδοση κοινής στρατηγικής εφαρμογής
2003: Διορία υιοθέτησης από τις εθνικές νομοθεσίες, αναγνώριση περιοχών λεκανών απορροής και αρχών, άρθρα 23 & 3
2004: Χαρακτηρισμός λεκάνης απορροής: πιέσεις, επιπτώσεις και οικονομική ανάλυση, άρθρο 5.
2006: Εγκαθίδρυση δικτυού παρακολούθησης, άρθρο 8
2008: Παρουσίαση πρώτου σχεδίου διαχείρισης, άρθρο 13
2009: Τελειοποίηση σχεδίου διαχείρισης συμπεριλαμβανομένου του προγράμματος μέτρων, άρθρα 11 και 13
2009-2015: Υλοποίηση των προγραμμάτων μέτρων
2010: Εισαγωγή τιμολογιακής πολιτικής, άρθρο 9
2012: Δημιουργία επιχειρησιακών προγραμμάτων μέτρων, άρθρο 11
2015: Επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων
2021: Τέλος δεύτερου κύκλου διαχείρισης
2027: Τέλος τρίτου κύκλου διαχείρισης, τελική προθεσμία επίτευξης στόχων

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Άρθρο 4 Περιβαλλοντικοί στόχοι. Καθορισμός ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων. Υποβάθμιση περιβαλλοντικών στόχων.	Απαιτείται αιτιολόγηση για τον προσδιορισμό ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων (... η φυσική τους κατάσταση είναι τέτοια ώστε η επίτευξη των στόχων να είναι ανέφικτή η δυσανάλογα δαπανηρή ...) Υποβάθμιση περιβαλλοντικών στόχων δικαιολογείται όταν: • Η επίτευξη τους μέσα στο χρονοδιάγραμμα είναι δυσανάλογα δαπανηρή. • Η επίτευξη τους είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και δεν υπάρχουν εναλλακτικά μέτρα σημαντικά καλύτερα που δεν παρουσιάζουν δυσανάλογα κόστη. • Μια νέα δραστηριότητα επιτυγχάνει οφέλη που υπερτερούν έναντι της διατήρησης της καλής κατάστασης των υδατικών συστημάτων και δεν υπάρχει άλλος τρόπος επίτευξης των ίδιων αποτελεσμάτων που να μην παρουσιάζει δυσανάλογα κόστη.
Άρθρο 5 και Παράρτημα ΙΙΙ Χαρακτηριστικά περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού. Αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οικονομική ανάλυση χρήσεων νερού.	Μέρος της ανάλυσης των χαρακτηριστικών λεκάνης απορροής αποτελεί η οικονομική ανάλυση των χρήσεων νερού με βάση τις προδιαγραφές του Παραρτήματος ΙΙΙ. Η οικονομική ανάλυση περιλαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες και σε λεπτομέρεια τέτοια ώστε: • Να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την ανάκτηση του συνολικού κόστους υπηρεσιών νερού λαμβάνοντας υπόψη προβλέψεις για τη εξέλιξη της προσφοράς και ζήτηση νερού, τιμές και κόστος υπηρεσιών νερού και τις απαραίτητες επενδύσεις. • Να γίνει κριτική αξιολόγηση των πιο οικονομικά αποδοτικών μέτρων για να συμπεριληφθούν στο πρόγραμμα μέτρων που θα αναπτυχθεί.
Άρθρο 9 Ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος.	Λαμβάνεται υπόψη η αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος συμπεριλαμβανομένου του κόστους για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους Τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίζουν: • Ότι οι πολιτικές τιμολόγησης του ύδατος παρέχουν κατάλληλα κίνητρα στους χρήστες για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδατικούς πόρους. • Κατάλληλη συμβολή των διαφόρων χρήσεων νερού διακρινόμενων τουλάχιστον σε βιομηχανία, νοικοκυριά και γεωργία στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος. Παρέχεται η δυνατότητα να συνεκτιμώνται τα κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα της ανάκτησης του συνολικού κόστους.
Άρθρο 11 και Παράρτημα VI Πρόγραμμα μέτρων.	Θέσπιση προγράμματος μέτρων με βάση τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων. Τα βασικά μέτρα περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, μέτρα που κρίνονται κατάλληλα για τους σκοπούς του άρθρου 9 (ανάκτηση του συνολικού κόστους)

Εικόνα 5 Οικονομικά στοιχεία στην Οδηγία 2000/60 (5), πηγή: Βοϊβόντας και Ασημακόπουλος, 2002

4.3. Η εθνική νομοθεσία

Το υφιστάμενο θεσμικό-πλαίσιο για την ποιότητα του πόσιμου νερού αποτελείται από τις ακόλουθες διατάξεις:

- Η ΔΤΓ2/Γ.Ποικ. 38295/2007 (ΥΕΚ 630/τ.β./26-4-07) ΚΤΑ με την οποία τροποποιήθηκε η Τ2/οικ.2600/2001 ΚΤΑ (ΥΕΚ 892/Β/11-7-01) για την "ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης" σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.
- Η Γ3α/761/68 Υγ. Διάταξη, όπως έχει τροποποιηθεί (ΥΕΚ 189/68 Β, 988/74 Β) που περιλαμβάνει συμπληρωματικές διατάξεις για τους υπεύθυνους ύδρευσης του νερού, καθώς και τις υποχρεώσεις τους.
- Η ΤΜ/5673/57 (ΥΕΚ 5/58 Β) Υγ. Διάταξη, που αναφέρεται στις μεθόδους απολύμανσης του νερού ύδρευσης.
- Τα άρθρα 8 έως 17 του Υγειονομικού Κανονισμού, που αναφέρονται σε μέτρα προστασίας πηγών υδροληψίας και συστημάτων ύδρευσης.
- Η Β1/οικ5508/98 Υπουργική Απόφαση, που αναφέρεται στην αναγνώριση των Πανεπιστημιακών εργαστηρίων των Ιατρικών Σχολών, Θεσ/νίκης, Ιωαννίνων, Πατρών, Κρήτης και Αθηνών, ως Κέντρα Αναφοράς ελέγχου νερών κ.λπ.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Η Ε1β/221/65 (ΥΕΚ 138/τ.β/24-2-65) Υγ. Διάταξη1 στην οποία προβλέπονται αποστάσεις ασφαλείας των πηγών υδροληψίας από χώρους διάθεσης λυμάτων.

Όπως απαιτείται από την ελληνική νομοθεσία, κάθε εταιρεία διαχείρισης είναι υπεύθυνη και υποχρεωμένη να διενεργεί περιοδικούς ελέγχους της ποιότητας του νερού. Οι παράμετροι που υπόκεινται σε τακτική παρακολούθηση περιλαμβάνουν:

- Αργίλιο
- Αμμώνιο
- Χρώμα
- Αγωγιμότητα
- Clostridium Perfingens
- Escherichia coli
- Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου
- Σίδηρος
- Νιτρώδη
- Οσμή
- Pseudomonas aeruginosa
- Γεύση
- Αριθμός σε 220 oC και 370 oC
- Κολοβακτηριοειδή
- Θολότητα
- Υπολειμματικό χλώριο

Στα κυριότερα στοιχεία που εξετάζονται κατά την αναγνώριση είναι:

- Λεκάνη απορροής υδροληψία
- πηγή υδροληψίας
- εξωτερικοί αγωγοί
- αντλιοστάσιο
- δεξαμενές
- δίκτυο διανομής
- σύστημα επεξεργασίας
- απολύμανση
- εσωτερικές υδραυλικές εγκαταστάσεις
- δίκτυο διανομής

Και πάλι, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, δεν έχουν μελετηθεί στοιχεία σχετικά με τη γήρανση του νερού στο δίκτυο, αλλά είναι αυτονόητο ότι αν προκύψει οτιδήποτε σχετικό με τη γήρανση του νερού, μπορεί να αντιμετωπιστεί με τις διαδικασίες που έχουν ήδη καθοριστεί και εφαρμόζονται για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού, ιδίως για τη χημική του σύσταση.

Πίνακας 5 Η Ποιότητα του Νερού και τα κύρια αίτια επιβάρυνσης (Κανακούδης, 1998)

Ποιότητα Νερού	Κύρια αίτια προβλήματος	Πιθανή Αιτία Προβλήματος
Παράπονα καταναλωτών για βρώμικο νερό	Υψηλής διαβρωτικής ικανότητας νερό	Μεταβολή των χαρακτηριστικών του νερού, Διείσδυση ουσιών (μικροοργανισμών)
Υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης ασβεστίου	Μεταβολή των χαρακτηριστικών του νερού	
Υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης μόλυβδου	Μεταβολή των χαρακτηριστικών του νερού	
Μη ικανοποιητικά αποτελέσματα ελέγχου του δείκτη (LI)	Υψηλής διαβρωτικής ικανότητας νερό	
Παράπονα καταναλωτών για κόκκινο νερό	Υψηλής διαβρωτικής ικανότητας νερό, Μη επενδυμένοι αγωγοί	Μεταβολή των χαρακτηριστικών του νερού

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Όπως ορίζεται στην οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ, οι χρήσεις του νερού είναι γεωργικές, βιομηχανικές και οικιακές. Επιπλέον, ο ελληνικός νόμος 3199/03 αναφέρεται στην ενεργειακή χρήση του νερού σε υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις και στη χρήση του νερού σε διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες αναψυχής. Ως εκ τούτου, η χρήση του νερού είναι πανταχού παρούσα. Χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα, στον οικιακό, στον βιομηχανικό κοκ.

Αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τον Ν. 3199/03 (ο οποίος τιτλοφορείται ως Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ), στον οποίο αναφερόμαστε αρκετά συχνά κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, η χρήση για ύδρευση καλύπτονται παρά το γεγονός ότι πολλά νοικοκυριά συνηθίζουν να κάνουν άσκοπη χρήση του νερού. Αναφορικά με την τελευταία πρόταση, οι Camp και Daugherty (2004) θεωρούν πως αυτή η σπατάλη σχετίζεται εν πολλοίς με τις ανέσεις που έχουμε συνηθίσει να χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας.

Όλα τα παραπάνω απαιτούν ένα σχέδιο διαχείρισης των υδάτων που όχι μόνο θα χρησιμοποιεί το νερό σωστά, αλλά και με σύνεση (Φίλιος, 2010). Χρειάζεται εν ολίγοις πρόνοια για την βιώσιμη και μακρόχρονη διαχείριση των υδατικών πόρων (Ν. 3199/03).

Παρόμοιες προτεραιότητες τίθενται από την οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ, που έχει σκοπό την εξασφάλιση ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Ειδικότερα, υπάρχει πρόβλεψη και φιλοδοξία για την αποκατάσταση των ήδη καταπονημένων υδάτινων πόρων, τη βελτίωση της ποιότητας του νερού και τη μείωση της λειψυδρίας. Ταυτόχρονα, αποτρέπει την περαιτέρω υποβάθμιση των υδάτων και προωθεί την περαιτέρω βελτίωση και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων. Την ίδια ώρα, προτείνεται, η θέσπιση μέτρων τέτοιων που αποσκοπούν στην σταδιακή μείωση της ποσότητας των ρυπαντικών ουσιών που καταλήγουν στο νερό εφαρμόζοντας την Αρχή ο «ρυπαίνων πληρώνει». Ακόμη προτείνονται τρόποι με τους οποίους αντιμετωπίζονται οι αρνητικές επιπτώσεις οι οποίες σχετίζονται με τον καιρό όπως η ξηρασία και οι πλημμύρες (Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ).

Σε άλλο σημείο, ο ίδιος νόμος ορίζει δεκατέσσερα (14) υδάτινα σώματα ως Περιοχές Λεκάνης Απορροής Ποταμού. Αντίστοιχα, με τις διατάξεις του νόμου προβλέπεται και η δημιουργία πέντε διοικητικών ενοτήτων (Kanakoudis & Tsitsifli, 2010):

1. Συστήνεται Εθνική Επιτροπή Υδάτων με σκοπό τη χάραξη πολιτικών για την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων, την παρακολούθηση και τον έλεγχο της εφαρμογής τους και την έγκριση εθνικών προγραμμάτων για την προστασία και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων της χώρας, με βάση τις συστάσεις του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας και τη γνώμη του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων.
   Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων αποτελείται από:

- τον Υπουργό Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ως Πρόεδρο,
- τον Υπουργό Εσωτερικών,
- τον Υπουργό Οικονομίας και Ανάπτυξης,
- τον Υπουργό Οικονομικών,
- τον Υπουργό Υγείας,
- τον Υπουργό Διοικητικής Ανασυγκρότησης,
- τον Υπουργό Υποδομών και Μεταφορών,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- τον Υπουργό Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και
- τον Υπουργό Εργασίας, Κοινωνικής Ασφάλισης και Κοινωνικής Αλληλεγγύης.

2. Σύσταση Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων, υπό την προεδρία του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας και αποτελούμενο από έναν εκπρόσωπο από καθένα από τα ακόλουθα:

- κάθε κόμμα που εκπροσωπείται στη Βουλή,
- η Ένωση Περιφερειών Ελλάδος,
- η Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδος,
- η Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης,
- η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας,
- η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης Α.Ε.,
- οι εταιρείες ύδρευσης και αποχέτευσης που δεν εκπροσωπούνται από την Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης,
- η Πανελλήνια Συνομοσπονδία Ενώσεων Γεωργικών Συνεταιρισμών,
- ο Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού,
- η Γενική Συνομοσπονδία Εργατών Ελλάδος,
- το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος,
- το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών,
- το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών,
- το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων,
- το Εθνικό Κέντρο Φυσικών Επιστημών,
- το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης,
- το Ινστιτούτο Καταναλωτών,
- ο Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «Δήμητρα»,
- η Εθνική Επιτροπή για την καταπολέμηση της Απερήμωσης
- Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις και οι κοινωνικές Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές έγιναν με τους εξής τρόπους:

Υ.Α. Η.Π. 48416/2037/Ε.103/2011, (2516/β/7.11.2011) όπου εφαρμόζεται στην αποθήκευση άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς,

Υ.Α Η.Π. 51354/2641/Ε103/2010, (ΦΕΚ 1909/Β/8.12.2010) ισχύει για τον καθορισμό προτύπων ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τη συγκέντρωση ορισμένων ουσιών και ρύπων.

Για την ποιότητα του νερού που καταναλώνεται, γίνεται αναφορά στον στόχο που σε γενικές γραμμές αναφέρεται στην εναρμόνισή του με παλαιότερη οδηγία την 98/93 της ΕΕ και τις κατευθυντήριες γραμμές του Π.Ο.Υ. Στα πλαίσια αυτά, στο άρθρο 10 της ΚΥΑ/2600/2001, υπάρχουν γενικές αναφορές σχετικά με την καταλληλότητα των υλικών (σωλήνες κ.λπ.) που έρχονται σε επαφή με το νερό.

Η Α5/288/86 (ΦΕΚ 53Β 379Β) υγειονομική διάταξη «για την ποιότητα του πόσιμου νερού» σε εναρμόνιση της Οδηγίας 80/778/ΕΟΚ που αναφέρεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

νερού, τη συχνότητα δειγματοληψίας και τις υποχρεώσεις των υπευθύνων (π.χ. για τη σύνταξη τριετών εκθέσεων ποιότητας του πόσιμου νερού).

Βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας, η εταιρεία ύδρευσης είναι ο αποκλειστικός υπεύθυνος για την ποιότητα του πόσιμου νερού. Θα πρέπει να διενεργούνται έλεγχοι σε τοποθεσίες που είναι νομίμως καθορισμένες για έλεγχο και γίνονται σε τακτική βάση. Η ειδική νομοθεσία καθορίζει τη συχνότητα και τις μεθόδους δειγματοληψίας, καθώς και την ποιότητα της ύδρευσης. Οι παράμετροι που μετρούνται είναι η δοκιμαστική παρακολούθηση, ο έλεγχος και τα συμπληρώματα.

- **Δοκιμαστική παρακολούθηση**: Σκοπός της πιλοτικής παρακολούθησης είναι η παροχή δεδομένων σχετικά με τη μικροβιολογική και οργανική ποιότητα του πόσιμου νερού σε τακτική βάση και, όπου είναι δυνατόν, πληροφοριών σχετικά με την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας του πόσιμου νερού (ιδίως της απολύμανσης), ώστε να διαπιστωθεί εάν το πόσιμο νερό συμμορφώνεται με τις σχετικές παραμετρικές τιμές της παρούσας απόφασης.
- **Ελεγκτική παρακολούθηση**: Σκοπός του συγκεκριμένου ελέγχου είναι να παρασχεθούν οι απαραίτητες πληροφορίες, προκειμένου στην συνέχεια να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος μη υπέρβασης των οριακών τιμών των παραμέτρων που έχουν θεσπιστεί. Από το παράρτημα του νόμου, όλες οι παράμετροι ορίζονται και υπόκεινται σε έλεγχο, εκτός εάν η αρμόδια αρχή αποφασίσει, για μια περίοδο που θα καθοριστεί, ότι μια παράμετρος δεν είναι πιθανό να εμφανιστεί σε μια συγκεκριμένη πηγή νερού σε τέτοιες συγκεντρώσεις που να δημιουργούν κίνδυνο μη συμμόρφωσης με τη σχετική παραμετρική τιμή (π.χ. ραδιενέργεια).
- **Συμπληρωματική παρακολούθηση**: Σκοπός της συμπληρωματικής παρακολούθησης είναι η εξέταση άλλων μη συνδεδεμένων παραμέτρων που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού, τα παράσιτα, όπως η παθογόνος σαλμονέλα, το καμπυλοβακτηρίδιο, οι εντερικοί ιοί και τα φύκη, ανάλογα με την περίπτωση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Το Υδραυλικό Μοντέλο ή Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin)

Με το πρόσφατο κύμα ψηφιοποίησης, η τελευταία τάση σε κάθε κλάδο είναι η κατασκευή συστημάτων και προσεγγίσεων που θα τον βοηθήσουν όχι μόνο κατά τη φάση της ιδεατοποίησης, της δημιουργίας πρωτοτύπων, των δοκιμών και της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού, αλλά και κατά τη φάση λειτουργίας με απώτερο στόχο τη χρήση τους σε όλη τη διάρκεια ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος και ίσως πολύ περισσότερο. Ενώ η σημασία των εργαλείων αριθμητικής προσομοίωσης και των πειραμάτων εργαστηριακής κλίμακας δεν είναι αδιαμφισβήτητη στην αρχική φάση, η επιχειρησιακή φάση ανοίγει τη δυνατότητα αξιοποίησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση και τη βελτίωση των λειτουργιών και τη δημιουργία νέων μονοπατιών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος.

Ο Grieves (2019) στη λευκή του βίβλο όρισε ως «Digital Twin» αυτή την εικονική αναπαράσταση. Η ιδέα του Digital Twin έχει αρχίσει να γίνεται ιδιαίτερα δημοφιλής στους ακαδημαϊκούς και βιομηχανικούς κλάδους (με προσαρμογή βεβαίως στα διάφορα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνει τον ορισμό τού σε κάθε περίπτωση), ιδιαιτέρως αφότου συμπεριλήφθηκε στην έκθεση της Gartner με τις πιο ελπιδοφόρες τεχνολογικές τάσεις (Garfinkel, 2018). Για παράδειγμα, ο Hicks διαφοροποιεί ένα ψηφιακό δίδυμο από ένα εικονικό πρωτότυπο και επαναπροσδιορίζει την έννοια ως «ένα κατάλληλα συγχρονισμένο σώμα χρήσιμων πληροφοριών (δομή, λειτουργία και συμπεριφορά) μιας φυσικής οντότητας στον εικονικό χώρο, με ροές πληροφοριών που επιτρέπουν τη σύγκλιση μεταξύ της φυσικής και της εικονικής κατάστασης».

Σύμφωνα με τους Schluse et. al. (2018) τα ψηφιακά δίδυμα αντιπροσωπεύουν πραγματικά αντικείμενα ή υποκείμενα με τα δεδομένα, τις λειτουργίες και τις ικανότητές τους επικοινωνίας στον ψηφιακό κόσμο. Αν και η πρώτη αναφορά της λέξης digital twin μπορεί να είναι ανάγεται στο έτος 2000, όταν ο Grieves το ανέφερε στο πλαίσιο της μεταποίησης, χωρίς επίσημη αναφορά, αρκετές βιομηχανίες και οργανισμοί είχαν εκμεταλλευτεί την ιδέα σε διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας. Μερικά παραδείγματα αυτών είναι το αρχείο καταγραφής πληροφοριών για την υγεία των ασθενών και η παρακολούθηση ιστορικού, η ηλεκτρονική παρακολούθηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων διεργασίας, η διαχείριση κυκλοφορίας και logistics, η δυνατότητα δυναμικής αφομοίωσης δεδομένων πρόβλεψης καιρού, συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο για την ανίχνευση διαρροών σε αγωγούς πετρελαίου και νερού και απομακρυσμένα έλεγχος και συντήρηση δορυφόρων ή διαστημικών σταθμών. Πιο πρόσφατα, η ανάγκη επισημοποίησης και αξιοποίησης του πλήρους δυναμικού των ψηφιακών δίδυμων εννοιών προκύπτει από έναν συνδυασμό τεχνολογικής ώθησης και έλξης από την αγορά. Ενώ η ανάγκη για online παρακολούθηση, ευελιξία στη λειτουργία, καλύτερη διαχείριση αποθεμάτων και εξατομίκευση των υπηρεσιών είναι η πιο προφανής έλξη της αγοράς, η διαθεσιμότητα φθηνών αισθητήρων και τεχνολογιών επικοινωνίας, η εκπληκτική επιτυχία της Machine Learning (ML) και της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), ειδικότερα , Deep Learning (DL), νέες εξελίξεις στο υπολογιστικό υλικό (Graphics Processing Unit (GPU) και Tensor Processing Unit (TPU)), το cloud και το edge computing είναι σίγουρα η μεγαλύτερη τεχνολογική ώθηση. Λαμβάνοντας υπόψιν την παραπάνω

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

άποψη, μπορεί να ισχυριστεί κάποιος η ιδέα του ψηφιακού διδύμου μπορεί να φέρει επανάσταση σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας.

5.1. Η αξία του συστήματος

Με βάση μια αναφορά από την Oracle (2019) προσδιορίζονται οι ακόλουθες οκτώ προσθήκες αξίας του συστήματος:

1. **Απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος σε πραγματικό χρόνο**: Σε γενικές γραμμές, είναι σχεδόν αδύνατο να παρουσιάσουμε με λεπτομέρεια πολύ μεγάλα συστήματα σε πραγματικό χρόνο. Τα ψηφιακά δίδυμα, από τη φύση τους, είναι προσβάσιμα από οπουδήποτε. Εκτός από την παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος, μπορούν επίσης να ελέγχονται εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας μηχανισμούς ανάδρασης.
2. **Περισσότερη ασφάλεια και αποτελεσματικότητα**: Προβλέπεται ότι η ψηφιακή αδελφοποίηση θα προσδώσει μεγαλύτερη αυτονομία με τους ανθρώπους στο βρόχο όταν αυτή απαιτείται. Επομένως θα είναι εφικτό να ελέγχονται από τους ανθρώπους εξ αποστάσεως εργασίες που χαρακτηρίζονται επικίνδυνες και βρώμικες, τις οποίες θα έχουν αναλάβει να εκτελέσουν ρομπότ. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα στους ανθρώπους να εστιάσουν σε πιο καινοτόμες και δημιουργικές θέσεις εργασίας.
3. **Προγραμματισμός και πρόβλεψη σφαλμάτων**: Με την ύπαρξη πολλών αισθητήρων στο σύστημα θα είναι δυνατή σε πραγματικό χρόνο η άντληση πολλών δεδομένων. Μέσω μιας έξυπνης ανάλυσης δεδομένων, τα σφάλματα στο σύστημα μπορούν να εντοπιστούν πολύ εκ των προτέρων. Αυτό θα επιτρέψει τον καλύτερο προγραμματισμό της συντήρησης.
4. **Εκτίμηση σεναρίου και κινδύνου**: Ένα ψηφιακό δίδυμο ή για την ακρίβεια ένας ψηφιακός αδελφός του συστήματος θα επιτρέψει τις αναλύσεις what-if που θα οδηγήσουν σε καλύτερη αξιολόγηση κινδύνου. Θα είναι εφικτό να προσομοιωθεί η απόκριση του συστήματος σε διάφορα σενάρια και να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις υιοθέτησης διάφορων στρατηγικών. Αυτού του είδους η ανάλυση χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο το πραγματικό περιουσιακό στοιχείο είναι δυνατή μόνο μέσω ενός ψηφιακού δίδυμου.
5. **Καλύτερες συνέργειες και συνεργασίες εντός και μεταξύ των ομάδων**: Με μεγαλύτερη αυτονομία και όλες τις πληροφορίες στο χέρι, οι ομάδες μπορούν να αξιοποιήσουν καλύτερα τον χρόνο τους για να βελτιώσουν τις συνέργειες και τις συνεργασίες που οδηγούν σε μεγαλύτερη παραγωγικότητα.
6. **Πιο αποτελεσματικό και ενημερωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων**: Όταν τα ποσοτικά δεδομένα και οι προηγμένες αναλύσεις είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να ληφθούν γρήγορα πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις.
7. **Εξατομικευμένα προϊόντα και υπηρεσίες**: Λαμβάνοντας υπόψιν τις συνεχείς εξελισσόμενες τάσεις, τον ανταγωνισμό που επικρατεί στην αγορά και τις διάφορες προτιμήσεις που υπάρχουν από τους ενδιαφερόμενους αναμένεται αύξηση της ζήτησης εξατομικευμένων υπηρεσιών και προϊόντων. Στο εργοστάσιο του μέλλοντος, το ψηφιακό δίδυμο θα επιτρέπει ταχύτερες και ομαλότερες αλλαγές ταχυτήτων ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8. Καλύτερη τεκμηρίωση και επικοινωνία: Ο συνδυασμός άμεσα διαθέσιμων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο και αυτοματοποιημένων αναφορών θα συμβάλει στη σωστή ενημέρωση των ενδιαφερομένων μερών και στη βελτίωση της διαφάνειας.

5.2. Εφαρμογές

5.2.1. Ο χώρος της υγείας

Ο τομέας που είναι πιθανό να επωφεληθεί περισσότερο από την εισαγωγή αυτού του μοντέλου είναι ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης. Η δημιουργία έξυπνων φορητών συσκευών, η συστηματική αποθήκευση προσωπικών και κοινωνικών δεδομένων υγείας, η ανάγκη για εξατομικευμένη στοχευμένη θεραπεία και η σύγκλιση της μηχανικής και της ιατρικής είναι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στον τομέα της έξυπνης και συνδεδεμένης υγείας.

Οι ψυχολόγοι έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν επίπεδα φυσικής δραστηριότητας χρησιμοποιώντας ειδικές συσκευές για να προβλέψουν την έναρξη διαφορετικών επεισοδίων διπολικής διαταραχής (Krane-Gartiser, et. al., 2018). Σύμφωνα με τον Fernández-Ruiz (2018) για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προτείνεται ο συνδυασμός υπολογιστικών προσομοιώσεων με μηχανική ιστών. Οι Laaki et. al. (2019) δίνουν μια εικόνα για το πώς μπορεί να μοιάζει η μοντελοποίηση του ψηφιακού διδύμου για εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση. Οι Bruynseels et al. (2018) με τη σειρά τους προβάλλουν το ψηφιακό δίδυμο ως μια αναδυόμενη τεχνολογία που δημιουργεί πυριτικές αναπαραστάσεις ενός ατόμου που αντανακλά δυναμικά τη μοριακή κατάσταση, τη φυσιολογική κατάσταση και τον τρόπο ζωής.

Οι Zhang et al. (2018) δίνουν μια επισκόπηση των τελευταίων εξελίξεων στη μηχανική organ-on-a-chip (OOC). Συντιθέμενα από ιστούς ασθενών, το OOC αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά προκλινικά μοντέλα δοκιμής φαρμάκων. Τα τσιπ μπορούν να αναπαράγουν βασικές πτυχές της ανθρώπινης φυσιολογίας που είναι απαραίτητες για την κατανόηση των επιδράσεων των φαρμάκων. Συνδυάζοντας πολλά τέτοια OOC μπορεί κανείς να δημιουργήσει ένα πλήρες σώμα σε ένα τσιπ (BOC). Αντίστοιχα, οι Skardal et al. (2016) δείχνουν την πρόοδο που σημειώθηκε προς αυτή την κατεύθυνση.

Αν και τόσο το OOC όσο και το BOC (εφαρμογές για τις οποίες αναφερθήκαμε παραπάνω) θεωρούνται ως τεχνολογίες αναπαράστασης στο πλαίσιο του ψηφιακού δίδυμου (ή του ψηφιακού αδερφού για να είμαστε πιο ακριβείς), στο πιο εγγύς μέλλον μπορεί να αναπτυχθεί ένα ψηφιακό δίδυμο ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιώντας τις περισσότερες από τις ήδη διαθέσιμες τεχνολογίες και δεδομένα.

Αρχικά, το ιστορικό υγείας των κατοίκων έχει ήδη καταγραφεί από το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης στις ανεπτυγμένες χώρες. Ωστόσο, ένα θέμα είναι ότι αυτή η παρακολούθηση δεν είναι τακτική και σημαντικό μέρος του νεαρού πληθυσμού μένει εκτός μελέτης επειδή επισκέπτεται τους γιατρούς μόνο όταν νοσεί.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα έξυπνα περιβραχιόνια έχουν μεγάλη αξία, καθώς συμβάλλουν στην εξισορρόπηση της βάσης δεδομένων και επιτρέπουν διαχρονικές μελέτες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Επιπλέον, με ένα ψηφιακό δίδυμο του ανθρώπινου σώματος του ασθενούς, οι χειρουργοί μπορούν ήδη να εκπαιδεύονται πριν εκτελέσουν τη χειρουργική επέμβαση. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά τεχνικά, ηθικά ζητήματα και ζητήματα απορρήτου που πρέπει να επιλυθούν, για να γίνει πραγματικότητα το ψηφιακό δίδυμο.

Απαιτούνται φυσικά μοντέλα για τη βιοχημεία, τη μεταφορά υγρών και θρεπτικών ουσιών και άλλα μηχανιστικά μοντέλα για την καλύτερη προσομοίωση της εσωτερικής λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος (όργανα, ροή αίματος, μετάδοση σήματος κ.λπ.). Οι Oran et. al., (2009) κάνουν λόγο για ένα όραμα «υπολογιστικού ανθρώπου», το οποίο είναι ένα δυναμικό υπολογιστικό μοντέλο που τρέχει γρήγορα μείζονα φυσιολογικά συστήματα, όπως το κυκλοφορικό, το αναπνευστικό ή το απεκκριτικό σύστημα σε ένα ανθρώπινο σώμα.

Στο παράδειγμα για την απομακρυσμένη χειρουργική οι Laaki et. al. (2019) τόνισαν τη σημασία της χαμηλής καθυστέρησης, του υψηλού επιπέδου ασφάλειας και αξιοπιστίας υπονοώντας πόσο σημαντικό ρόλο θα παίξουν οι τεχνολογίες επικοινωνίας (όπως το 5G) και η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο (τεχνολογίες κρυπτογράφησης). Η αποτελεσματική μοντελοποίηση με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM) και η εικονική πραγματικότητα (VR) θα συμβάλουν επίσης σε αυτό το πλαίσιο. Οι Jimenez et al. (2020) υποστήριξανεπίσης τη δημιουργία ψηφιακών δίδυμων τεχνολογιών στην ιατρική.

Οι Kocabas et al. (2016) αναφέρονται λεπτομερώς σε αυτό το ιατρικό κυβερνοφυσικό σύστημα λαμβάνοντας υπόψη τα επίπεδα απόκτησης δεδομένων, την προεπεξεργασία δεδομένων, το σύστημα cloud και την ενότητα δράσης. Η ασφαλής ενοποίηση των ασύρματων δικτύων περιοχής σώματος (WBAN) με πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους και δίκτυα Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) έχει θεωρηθεί ως μια άλλη σημαντική πρόκληση στις εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης (Latré et. al., 2011).

5.2.2. Οι εφαρμογές στην μετεωρολογία

Τα μετεωρολογικά ινστιτούτα σε όλο τον κόσμο έχουν χρησιμοποιήσει εκτενώς τις έννοιες του ψηφιακού δίδυμου. Χρησιμοποιούν σταθερά μοντέλα μιας περιοχής (έδαφος, κτίρια), προσομοιωτές φυσικής υψηλής πιστότητας και μεγάλα δεδομένα που προέρχονται από πολλαπλές πηγές για να παρέχουν τόσο μακροπρόθεσμη όσο και βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη καιρού, η οποία τελικά κοινοποιείται χρησιμοποιώντας εκπληκτική απόδοση των αριθμητικών αποτελεσμάτων μέσω προγράμματος περιήγησης ιστού, τηλεόρασης ή εφαρμογές για κινητές συσκευές (Ronda et. al., 2017).

Οι μεγάλοι όγκοι δεδομένων (δεδομένα εδάφους, δορυφόροι, ιστοί, ραντάρ, radiosonde, θαλάσσια σημαδούρα, drones) που χειρίζονται στη μετεωρολογία χαρακτηρίζονται από τα υψηλά 4Vs (όγκος, ταχύτητα, ποικιλία και ακρίβεια). Σε αυτήν την περιοχή εφαρμογής, μπορεί κανείς να βρει μερικές από τις πιο προηγμένες μεθόδους αφομοίωσης μεγάλων δεδομένων σε μαζικά παραλληλισμένους αριθμητικούς προσομοιωτές ικανούς να λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο και εξαιρετικούς μακροπρόθεσμους και καλά τεκμηριωμένους μηχανισμούς αρχειοθέτησης και ανάκτησης δεδομένων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Ένας από τους λόγους για την τεράστια επιτυχία της ψηφιακής δίδυμης ιδέας στον τομέα της μετεωρολογίας είναι μια σχετικά πολύ χαμηλότερη γραμμή όσον αφορά το απόρρητο των δεδομένων. Υπάρχουν πολλά να μάθουμε από αυτόν τον τομέα. Αν και δεν θα είναι υπερβολή να ορίσουμε την πρόγνωση καιρού ως την πιο ώριμη ψηφιακή δίδυμη ιδέα, υπάρχουν ακόμα αρκετά περιθώρια για βελτιώσεις με σχετική ευκολία. Οι μετεωρολογικές υπηρεσίες έχουν κακή ποιότητα σε εκείνες τις τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο όπου δεν υπάρχουν αρκετοί μετεωρολογικοί σταθμοί ή δεδομένα παρατήρησης.

Η μετεωρολογία ακριβείας στοχεύει στη βελτίωση της πρόγνωσης του καιρού με την ενημέρωση των προβλέψεων μέσω αριθμητικής μοντελοποίησης, συλλογής δεδομένων, ανάλυσης δεδομένων και βελτίωσης της υιοθέτησης τεχνολογίας. Η μεγαλύτερη από ποτέ διείσδυση των smartphone σε όλες σχεδόν τις κοινωνίες παρέμεινε μια υποχρησιμοποιημένη τεχνολογία. Κάθε smartphone είναι εξοπλισμένο για τη μέτρηση ακατέργαστων δεδομένων όπως η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία και η υγρασία για πρόσβαση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ενώ η ανάλυση δεδομένων από λίγα μόνο τηλέφωνα μπορεί να μην αποφέρει πολλά, η ανάλυση δεδομένων από δισεκατομμύρια τηλέφωνα σίγουρα θα αλλάξει το παιχνίδι. Στην πραγματικότητα οι Price et al. (2018) έχουν ήδη αποδείξει τη χρήση smartphone για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής παλίρροιας. Οι Nipen et al. (2019) έδειξαν πρόσφατα την αξία των δεδομένων που προέρχονται από πλήθος για τη βελτίωση των επιχειρησιακών προγνώσεων καιρού.

Σε κέντρα καιρού και κλίματος, μεγάλος όγκος και μεγάλη ποικιλία ροών από δεδομένα παρατήρησης έχουν χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσουν τις γνώσεις μας για την τρέχουσα κατάσταση της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, που παρέχουν μια αρχική προϋπόθεση για προβλέψεις μελλοντικών καταστάσεων. Ως ολοκληρωμένη προσέγγιση, τα συστήματα πειραμάτων προσομοίωσης συστήματος παρατήρησης (OSSE) μιμούνται τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση τέτοιων δορυφορικών παρατηρήσεων, μπαλονιών ή επιφανειακών πύργων για τον προσδιορισμό των καταστάσεων της ατμόσφαιρας (Privé et. al., 2013).

Ένα OSSE μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ψηφιακό δίδυμο για τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων για τη δοκιμή νέων συστημάτων πριν κατασκευαστεί ή αναπτυχθεί πραγματικά το φυσικό τους πρωτότυπο. Αναμένεται ότι στο μέλλον τέτοιες τεχνικές OSSE θα εφαρμοστούν σε διάφορους τομείς με τη χρήση όλο και πιο προηγμένων και εξελιγμένων προσομοιώσεων της φύσης και παρατηρήσεων (Hoffman & Atlas, 2016).

Μια πρόγνωση καιρού σχεδόν σε πραγματικό χρόνο είναι απαραίτητη για την επίγνωση της περιβαλλοντικής κατάστασης για βελτιωμένα σενάρια λήψης αποφάσεων (Benjamin et. al., 2016). Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε, διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας, παρακολούθηση κακοκαιρίας, προσαρμογή ανεμογεννητριών και ούτω καθεξής. Για να επιτευχθεί αυτό, ένας αυξανόμενος αριθμός παρατηρήσεων θα πρέπει να αφομοιωθεί ακαριαία, καθώς η διάρκεια ζωής πολλών καιρικών φαινομένων μπορεί να είναι μικρότερη από λίγα λεπτά. Η επίλυση ενός μοντέλου καθαρά βασισμένου στη φυσική με την απαιτούμενη ανάλυση ενώ είναι συμβατό με τις χρονικές κλίμακες των φυσικών φαινομένων μπορεί να είναι απαγορευτική.

Επομένως, ένα παράλληλο επιταχυνόμενο ψηφιακό δίδυμο καθίσταται ικανό να αντιγράψει το φυσικό σύστημα με αποδεκτή ακρίβεια, θα μπορούσε να προσφέρει μια ρεαλιστική λύση για την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

αφομοίωση αυτών των βραχυχρόνιων παρατηρήσεων. Ο ρόλος αυτού του διδύμου είναι να δώσει γρήγορες κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με το αν πρέπει να ληφθεί μια απόφαση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό με τα εγγενή στοχαστικά χαρακτηριστικά των καιρικών συστημάτων, και ως εκ τούτου το μοντέλο πρέπει να είναι σε θέση να παρακολουθεί αυτές τις φαινομενικά τυχαίες διαδοχικές παρατηρήσεις (Chinesta et. al., 2020).

Τα εργαλεία που βασίζονται σε δεδομένα κάνουν εξαιρετική δουλειά όσον αφορά το διαδικτυακό κόστος χρόνου, ωστόσο το να βασίζεσαι μόνο σε δεδομένα και να αγνοείς τη γνωστή και καθιερωμένη φυσική δεν είναι σοφό βήμα. Οι τεχνικές υβριδισμού έχουν αποδειχθεί ότι παρέχουν ανώτερη απόδοση στα επιμέρους συστατικά μόνο και όχι συνολικά απαραίτητα. Κατά συνέπεια, μπορεί να κατασκευαστεί ένα δίδυμο ψηφιακής αφομοίωσης για να παρέχει δείκτες ενημερωμένους από τη φύση για κοντινά συμβάντα. Επιπλέον, για να δοκιμαστούν νέα μοντέλα και εργαλεία αφομοίωσης πριν από την υιοθέτησή τους στις τρέχουσες επιχειρησιακές πλατφόρμες, πρέπει να δοκιμαστούν με ορισμένες συνθετικές παρατηρήσεις προσομοιωμένες από ρεαλιστικές δοκιμές φύσης (NR) (Hoffman & Atlas, 2016).

Για να διατηρηθεί ένα ρεαλιστικό σημείο αναφοράς, αυτά τα NR θα πρέπει να μιμούνται το φυσικό φαινόμενο με τις αντίστοιχες χρονικές κλίμακες και να παρέχουν έγκαιρες παρατηρήσεις. Τα εργαλεία ML και AI έχουν δείξει εξαιρετική απόδοση “μαθαίνοντας” από τα διαθέσιμα δεδομένα. Η παροχή σε ένα ψηφιακό δίδυμο με επαρκή ποσότητα πραγματικών (θορυβωδών) δεδομένων και η τοποθέτηση των καθιερωμένων φυσικών περιορισμών μπορεί να προσφέρει ένα εκπαιδευμένο και ενημερωμένο αντίγραφο φύσης με ρεαλιστική στοχαστική συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, αυτή η στοχαστικότητα είναι σημαντική για τον έλεγχο της προβλεψιμότητας ακραίων γεγονότων που συνήθως συμβαίνουν χωρίς προηγούμενους μακροπρόθεσμους δείκτες (Joo et. al., 2017).

5.2.3. Εφαρμογές στον χώρο της βιομηχανίας

Οι βιομηχανίες παραγωγής και τεχνολογίας διεργασιών έχουν ιστορικό εκμετάλλευσης των ψηφιακών δίδυμων αντιλήψεων χωρίς να το αναφέρουν ρητά. Ωστόσο, με την τρέχουσα τάση ψηφιοποίησης και ζήτησης για εξατομικευμένα, υψηλής ποιότητας προϊόντα σε εξαιρετικά μεταβλητές παρτίδες με σύντομους χρόνους παράδοσης, οι βιομηχανίες αναγκάζονται να προσαρμόσουν το στυλ παραγωγής και κατασκευής τους.

Από αυτή την άποψη, ακόμη και αυτές οι βιομηχανίες επαναξιολογούν τις ψηφιακές δίδυμες έννοιες και προσπαθούν να συμπεριλάβουν τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες ενεργοποίησης στη ροή εργασίας τους. Σύμφωνα με μια έκθεση της BCG (Gerbert et. al., 2015) το Industry 4.0 θεωρείται ως η σύγκλιση εννέα ψηφιακών τεχνολογιών: big data και analytics, κυβερνοασφάλεια, βιομηχανικό IoT, προσομοίωση, επαυξημένη πραγματικότητα, πρόσθετη κατασκευή, προηγμένη ρομποτική, υπηρεσίες cloud, οριζόντιο και κάθετο σύστημα ενσωμάτωση.

Οι Borangiu et al. (2019) τονίζουν τη σημασία των υπηρεσιών cloud στο πλαίσιο της εικονικοποίησης πόρων ως εργαλείου για το Factory of the Future (FoF) γνωστό από διάφορες πρωτοβουλίες όπως τα Industry 4.0 (Γερμανία), Advanced Manufacturing (ΗΠΑ), e-factory (Ιαπωνία) και Έξυπνες Κατασκευές (Κίνα).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οι Mukherjee και DebRoy (2019) και οι Knapp et al. (2017) πρότειναν ένα εννοιολογικό πλαίσιο ενός ψηφιακού δίδυμου για τρισδιάστατη εκτύπωση. Στα μοντέλα τους, τα απαιτητικά υπολογιστικά μηχανιστικά μοντέλα (για μεταφορά θερμότητας, ροή ρευστού και εναπόθεση και μετασχηματισμό υλικού) είναι σίγουρα το σημείο συμφόρησης. Παρέχοντας μια επισκόπηση της ιστορικής προοπτικής για τον κύκλο ζωής των δεδομένων στην κατασκευή, οι Tao et. al. (2018 και 2019) τόνισαν τον ρόλο των μεγάλων δεδομένων στην υποστήριξη της έξυπνης κατασκευής. Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας των ψηφιακών διπλών εφαρμογών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα έχει μελετηθεί συστηματικά από τους Tao et. al. (2018 και 2019), οι οποίοι συμπέραναν ότι η πιο δημοφιλής περιοχή ψηφιακών διπλών εφαρμογών αναπτύσσει τα προηγμένα συστήματα πρόγνωσης και διαχείρισης υγείας (PHM). Μια δομή κυβερνοφυσικού συστήματος πέντε επιπέδων έχει προταθεί ειδικά για PHM στις κατασκευαστικές εφαρμογές (Lee et. al., 2015).

Κατά τον προσδιορισμό των βασικών εννοιών και των βασικών μεθοδολογιών, οι Zhong et. al., (2017) εξέτασαν τα ευφυή συστήματα παραγωγής. Μια λειτουργική μακέτα διεπαφής έχει προσφερθεί ως πρότυπο ανεξάρτητο εργαλείο για τη βελτίωση της σχεδίασης βάσει μοντέλου μεταξύ των κατασκευαστών και των προμηθευτών (Blochwitz et. al., 2011).

5.2.4. Δίδυμη μοντελοποίηση στο χώρο της εκπαίδευσης

Τα μαζικά ανοιχτά διαδικτυακά μαθήματα (MOOCs), τα οποία καθιστούν τα πανεπιστημιακά μαθήματα διαθέσιμα δωρεάν ή με χαμηλό ονομαστικό κόστος, είναι μια ανατρεπτική τεχνολογία που προκαλεί την παραδοσιακή διδασκαλία στην τάξη. Σε αυτήν την αλλαγή παραδείγματος στην παιδαγωγική, διανύουμε μια πληθώρα ευκαιριών για την εξατομίκευση της εκπαίδευσης για μια πιο αποτελεσματική διδασκαλία. Διαφορετικοί μαθητές με βάση το φυσικό ταλέντο, το ενδιαφέρον και το υπόβαθρό τους έχουν διαφορετικές ανάγκες. Αν και τα πανεπιστήμια και τα σχολεία καταγράφουν όλο και περισσότερα δεδομένα για τους μαθητές, ο βρόχος ανατροφοδότησης δεν έχει ολοκληρωθεί. Το μοντέλο της δίδυμης μοντελοποίησης για μαθητές θα βοηθήσει να αντιμετωπιστεί αυτό το έλλειμμα. Με την εμφάνιση των ρομπότ οδήγησης τεχνητής νοημοσύνης, η εξατομικευμένη εκπαίδευση και συμβουλευτική θα είναι όλο και πιο διαθέσιμη χωρίς επιπλέον κόστος. Στην πραγματικότητα, μια σύντομη συζήτηση σχετικά με τη δύναμη της εξατομίκευσης που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη στη μάθηση MOOC μπορεί να βοηθήσει σημαντικά. Ένα εξατομικευμένο προσαρμοστικό πλαίσιο μάθησης έχει επίσης κατασκευαστεί στο χρησιμοποιώντας ένα έξυπνο περιβάλλον μάθησης. Αρκετοί μελετητές έχουν αναπτύξει μια έννοια έξυπνης εκπαίδευσης που ενσωματώνει εργαλεία εξόρυξης δεδομένων. Ο ρόλος του IoT στην κατασκευή μιας έξυπνης εκπαιδευτικής διαδικασίας συμβάλλει σε αυτήν την κατεύθυνση. Μάλιστα, αρκετοί μελετητές εξετάζουν και σχολιάζουν τη σταδιακή πρόοδο από το e-learning στο m-learning (κινητή μάθηση), u-learning (πανταχού παρούσα μάθηση) και s-learning (έξυπνη μάθηση) (Adu & Poo, 2014).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

5.2.5. Πόλεις και ενεργειακός τομέας

Οι ψηφιακές δίδυμες σχετικές τεχνολογίες γίνονται πιο ώριμες για να προσφέρουν έξυπνες λύσεις στον τομέα των κατασκευών, των μεταφορών και της ενέργειας. Πολλοί μελετητές όπως οι Kent et. al. (2019) ασχολούνται με μια ψηφιακή δίδυμη ιδέα για να εμπλακούν οι πολίτες στον πολεοδομικό σχεδιασμό με την ιδέα του συνδυασμού φυσικών αντικειμένων με τα ψηφιακά αντίστοιχά τους. Αντίστοιχα, ο Hao (2015) συζήτησε τις απαιτήσεις του κλιμακούμενου μοντέλου cloud που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έξυπνες πόλεις. Μια συλλογή από δοκίμια για τη Σιγκαπούρη, που θεωρείται αναμφισβήτητα η πιο έξυπνη πόλη στον κόσμο, βρίσκεται στο έργο του Kiang (2016).

Στο εκδοτικό του σημείωμα, ο Batty (2018) συζήτησε την πρόοδο προς τα ψηφιακά δίδυμα σχετικά με τον πολεοδομικό σχεδιασμό και την επιστήμη της πόλης. Ένα παράδειγμα έξυπνης πόλης που μπορεί να επιτρέψει αυξημένη ορατότητα στις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-υποδομής-τεχνολογίας των πόλεων έχει επεξηγηθεί στο έργο των Mohammadi and J. E. Taylor (2017) στο οποίο η χωροχρονική δυναμική της πόλης ενσωματώθηκε σε μια πλατφόρμα ανάλυσης δεδομένων στη διασταύρωση πραγματικότητας και εικονικότητας σε πραγματικό χρόνο.

Αισθητήρες και τεχνολογίες ψηφιακών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται από έξυπνα δίκτυα για να ανιχνεύουν και να αντιδρούν σε τοπικές αλλαγές στη χρήση ενέργειας. Μια οπτική του κυβερνοφυσικού συστήματος για τις τεχνολογίες έξυπνων δικτύων μπορεί να βρεθεί στο έργο των Yu και Xue (2016). Η προσαρμογή της ψηφιακής διπλής τεχνολογίας για εφαρμογές σε κέντρα ελέγχου συστημάτων ισχύος συνεχίζει και απασχολεί την μελετητική κοινότητα. Ειδικότερα, οι Joseph et. al., (2018) χρησιμοποίησαν ένα ψηφιακό δίδυμο γρηγορότερο από τον πραγματικό χρόνο για την πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς των συστημάτων έξυπνου δικτύου.

Αντίστοιχα, οι Besselink et. al. (2016) περιέγραψαν μια προσέγγιση κυβερνο-φυσικού συστήματος για τον έλεγχο μεγάλης κλίμακας προβλημάτων οδικής μεταφοράς εμπορευμάτων, συμπεριλαμβανομένης της ελαχιστοποιημένης κατανάλωσης καυσίμου με ολοκληρωμένο σχεδιασμό δρομολογίων και μεταφορών. Μια προσέγγιση ολοκλήρωσης μεταξύ των οχημάτων και του φορητού υπολογιστικού νέφους έχει συζητηθεί στο έργο των Wan et. al. (2014).

5.3. Προκλήσεις

Όπως φαίνεται στην προηγούμενη ενότητα, η έννοια του ψηφιακού δίδυμου χρησιμοποιείται ήδη σε πολλούς τομείς εφαρμογών, ωστόσο, για να γίνουν τα ψηφιακά δίδυμα εντελώς αδιάκριτα από τα φυσικά τους αντίστοιχα, πρέπει να αντιμετωπιστούν πολλές προκλήσεις. Τα συστήματα αυτά και όσοι τα έχουν εγκαταστήσει θα πρέπει να εξετάζουν ζητήματα που αφορούν συγκεκριμένες εφαρμογές όσον αφορά τις υπηρεσίες κρίσιμου χρόνου, κρίσιμες για την ασφάλεια και κρίσιμες υπηρεσίες (Park, et. al., 2018).

Η σκοπιμότητα και οι προκλήσεις της χρήσης ενός ψηφιακού δίδυμου για την εκτέλεση ανάλυσης λειτουργικότητας και ασφάλειας στον κυβερνοχώρο απασχολούν αρκετά την επιστημονική κοινότητα αλλά και τους ιθύνοντες των πόλεων. Μάλιστα, οι Gunes et. al. (2014) παρείχαν έναν σύνθετο πίνακα που αγγίζει τη σημασία των μεγάλων προκλήσεων του κυβερνοφυσικού

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

συστήματος για διάφορους τομείς εφαρμογών. Η συζήτησή τους περιλαμβάνει λεπτομερή ορισμό για τη διαλειτουργικότητα συνθεσιμότητα, επεκτασιμότητα, ετερογένεια), ασφάλεια (ακεραιότητα, εμπιστευτικότητα, διαθεσιμότητα), αξιοπιστία (αξιοπιστία, συντηρησιμότητα, διαθεσιμότητα, ασφάλεια), βιωσιμότητα (προσαρμοστικότητα, ελαστικότητα, επαναδιαμόρφωση, αποτελεσματικότητα), αξιοπιστία (στιβαρότητα, προβλεψιμότητα). , συντηρησιμότητα και προβλεψιμότητα (ακρίβεια, σύνθεση).

Αντίστοιχα, οι He et. al. (2014) συζήτησαν διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με την επεξεργασία σήματος στις ψηφιακές δίδυμες τεχνολογίες. Οι αυστηρές απαιτήσεις για επεξήγηση και οι νόμοι περί προστασίας δεδομένων που προκύπτουν απαιτούν τώρα οι αποφάσεις που λαμβάνονται για τον άνθρωπο να μπορούν να εξηγηθούν στον άνθρωπο.

Για παράδειγμα, οι προοπτικές του ανθρώπινου παράγοντα για τα συστήματα αυτόματης οδήγησης μπορούν να βρεθούν σε μια πρόσφατη μελέτη (EU, 2016). Έχοντας κατά νου την ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης, το πείραμα της ηθικής μηχανής παρέχει πολλές ιδέες για το πώς οι μηχανές μπορούν να λάβουν ηθικές αποφάσεις.

5.4. Οικονομετρικά μοντέλα

Η ψηφιακή αδελφοποίηση θα επιφέρει πρωτοφανή αυτοματισμό στη διαχείριση οποιουδήποτε φυσικού περιουσιακού στοιχείου. Ένα από τα πρώτα μέλημα που μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την προσαρμογή των ψηφιακών διδύμων, όπως και κάθε άλλη τεχνολογία αυτοματισμού, θα είναι η αποδοχή του από το εργατικό δυναμικό.

Ο φόβος της απώλειας της εργασίας φαινόταν πολύ λογικός μερικές δεκαετίες νωρίτερα (Rodd, 1987) ωστόσο ακόμη και εκείνη την εποχή επικρατούσαν αντίθετες απόψεις βασισμένες σε συστηματικές μελέτες.

Στην πραγματικότητα, οι Sheridan et. al. (1983) έδειξαν ότι η αυτοματοποίηση οδηγεί απλώς στην ανακατανομή του χώρου εργασίας χωρίς μεγάλο αντίκτυπο στην απασχόληση. Τέτοιες μελέτες υπογραμμίζουν την ευπάθεια του εργατικού δυναμικού με χαμηλότερα προσόντα που εμπλέκονται σε βραχυχρόνιες θέσεις εργασίας. Υπάρχουν επίσης θετικές πτυχές με τον αυτοματισμό και αυτό είναι η προσεκτική κατανομή εργασιών μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, μπορεί να επιτρέψει μεγαλύτερη ασφάλεια και δημιουργικότητα στο χώρο εργασίας αναθέτοντας βρώμικες, χαζές και επικίνδυνες (3D) εργασίες σε μηχανές και τεχνητή νοημοσύνη. Αυτή η κατανομή εργασιών έχει μελετηθεί.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Digital Twin, Hydraulic Model

6.1. Εννοιολογική προσέγγιση

Οι υπηρεσίες ύδρευσης με ικανά συστήματα διανομής νερού- οι αυξημένες δαπάνες συντήρησης και τα μειωμένα έσοδα λόγω της μειωμένης αποδοτικότητας των συστημάτων διανομής δεν επωφελούνται από την εξοικονόμηση κόστους. Το δίκτυο διανομής νερού είναι ένα πολύπλοκο σύστημα, καθώς αποτελείται από σωλήνες, αντλίες, βαλβίδες, δεξαμενές, κόμβους διανομής, συστήματα εξαερισμού, εκτοξευτές, πηγές και αποθήκες νερού. Η δυσκολία και η πολυπλοκότητα της διαχείρισης δεδομένων έχει κάνει ασύμφορη και μερικές φορές αδύνατη τη μελέτη δικτύων. Επιπλέον, ένας μεγάλος βαθμός δυσκολίας στην ολοκληρωμένη διαχείριση των δικτύων προκύπτει από τη χαμηλή κατανόησή τους ή του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν.

Το απαιτητικό θεσμικό πλαίσιο αυξάνει συνεχώς τις υποχρεώσεις των υπηρεσιών ύδρευσης. Τα νέα πρότυπα της νομοθεσίας πρέπει να τηρούνται συλλέγοντας γραπτά στοιχεία, χωρίς τα οποία δεν μπορούν να υπολογιστούν ορισμένοι δείκτες, όπως η ηλικία του νερού, οπότε η εισαγωγή νέων τεχνολογιών καθίσταται υποχρεωτική. Οι εταιρείες ύδρευσης και διαχείρισης υδάτων πρέπει να χρησιμοποιούν προγράμματα υδραυλικής προσομοίωσης και μοντελοποίησης δικτύων, επειδή πρέπει να διαχειρίζονται τους φυσικούς πόρους με ορθολογικό τρόπο, να βελτιστοποιούν τη λειτουργία και διαχείριση των δικτύων τους.

6.2. Στόχοι

Τα συστήματα διανομής νερού (WDS) αποτελούνται επί του παρόντος από διαφορετικές υδραυλικές κατασκευές και πολύπλοκα στοιχεία διασυνδεδεμένα για να καλύπτουν τις απαιτήσεις σχετικά με τη ζήτηση νερού μιας κοινότητας (Herrera et. al., 2017). Για τον καλύτερο εφοδιασμό των χρηστών, τα αντλιοστάσια θα πρέπει να ελέγχονται με λειτουργίες on/off, και σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιώντας προγράμματα οδήγησης μεταβλητής ταχύτητας (VSD). Αυτές οι συσκευές μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος όταν είναι καλά σχεδιασμένες και ελεγχόμενες. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των πληροφοριών και τις υπολογιστικές συσκευές οδηγούν στον ψηφιακό μετασχηματισμό των συστημάτων αυτών (Makropoulos & Savić, 2019). Λόγω της πολυπλοκότητας αυτών των συστημάτων, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν τεχνικές παρακολούθησης και ελέγχου που επιτρέπουν τη βέλτιστη διαχείριση των δικτύων (Herrera et. al., 2017). Αυτές οι τεχνικές/μεθοδολογίες βασίζονται συνήθως σε συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA), τα οποία παρέχουν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο που λαμβάνονται στο πεδίο, το WDS, και μεταδίδονται σε ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου (Taormina, et. al., 2017).

Η ολοκληρωμένη παρακολούθηση ενός WDS είναι μια πολύπλοκη εργασία. Ωστόσο, είναι μια από τις απαραίτητες ενέργειες για καλές πρακτικές στη διαχείριση του συστήματος (Tshehla et. al., 2017). Η διαχείριση του συστήματος ύδρευσης θα μπορούσε να γίνει πλήρως κατανοητή αφού μπορούσαν να εγκατασταθούν συσκευές ελέγχου και παρακολούθησης. Ωστόσο, μη φυσιολογικές

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

καταστάσεις, όπως αστοχίες στο σύστημα παρακολούθησης, τηλεχειρισμός, επιθέσεις στον κυβερνοχώρο κ.λπ., οδηγούν σε απώλεια γνώσης της πραγματικής κατάστασης του συστήματος.

Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να αναλύονται τα δεδομένα παρακολούθησης από ένα βέλτιστο σύνολο αισθητήρων που τοποθετούνται σε κρίσιμους κόμβους και σωλήνες του συστήματος σε ένα βαθμονομημένο υδραυλικό μοντέλο για την αποτελεσματική πρόβλεψη, ανίχνευση και διαχείριση μη φυσιολογικών συνθηκών λειτουργίας Αυτές οι τεχνικές είναι γνωστές ως εκτίμηση κατάστασης (SE) ενός WDS (Díaz et. al., 2016).

Ορισμένες προσεγγίσεις για τη SE των WDS έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, κυρίως εστιασμένες σε εκτιμήσεις υδραυλικών παραμέτρων (π.χ. πίεση και ροή). Οι Díaz et al. (2016) εφάρμοσαν μια αλγεβρική μέθοδο αξιολόγησης των επιπτώσεων των μετρήσεων στην εξαγωγή συμπερασμάτων της υδραυλικής κατάστασης των WDS μέσω μιας ανάλυσης παρατηρησιμότητας. Οι συγγραφείς παρουσίασαν μια νέα μεθοδολογία για την τοποθέτηση αισθητήρων και την αξιολόγηση της αβεβαιότητας διαφόρων υδραυλικών μεταβλητών. Συνδυάζοντας τις μεθόδους από τους Díaz et al. (2016) και την αλγεβρική ανάλυση για ομαδοποίηση, έχει παρουσιαστεί ένα σύνολο ερευνών για τη βελτίωση των διαφόρων αναγκών της SE, όπως η ανάλυση ευαισθησίας (Díaz et. al., 2018) η βαθμονόμηση ενός WDS (Díaz et. al., 2016, 2017), η SE σε μεταβαλλόμενες τοπολογίες WDS και η ανίχνευση διαρροής με χρήση SE.

Οι Fusco et al. (2017) ανέλυσαν συμπληρωματικές προσεγγίσεις SE σε WDS με συσκευές ελέγχου και δεδομένα παρακολούθησης, επιλύοντας επαναληπτικά το πρόβλημα εκτίμησης της άγνωστης μεταβλητής χρησιμοποιώντας μεθόδους ελαχιστοποίησης ελαχίστων τετραγώνων σταθμισμένης κλίσης. Με την εκτέλεση υπολειμματικής ανάλυσης, ήταν δυνατό να εντοπιστούν οι αλλαγές σε ένα WDS λόγω του ανοίγματος ή του κλεισίματος στοιχείων ελέγχου, όπως οι βαλβίδες μείωσης πίεσης.

Εκτός από τις στατιστικές ή στοχαστικές μεθοδολογίες, νέες ερευνητικές προσεγγίσεις έχουν αναπτυχθεί στον τομέα της WDS. Τα τελευταία χρόνια, η Υδροπληροφορική έχει ενσωματώσει τις επιστήμες του νερού, τις επιστήμες δεδομένων, την τεχνητή νοημοσύνη και τις κοινωνικές επιστήμες (Holz et al., 2014). Τα μοντέλα που προτείνονται από την εξόρυξη δεδομένων και τη μηχανική μάθηση έχουν γίνει δημοφιλή την τελευταία δεκαετία (Rozos, 2021).

Μερικές από τις ανεπτυγμένες εφαρμογές που χρησιμοποιούν μηχανική εκμάθηση εφαρμόζονται στη βέλτιστη διαχείριση πίεσης και σχεδιασμό περιοχής μετρημένης περιοχής, ανίχνευση διαρροών σε WDSs, εκτίμηση ζήτησης νερού, και ανίχνευση κυβερνοεπιθέσεων, φυσικών επιθέσεων και μόλυνσης σε δίκτυα διανομής νερού.

Γενικότερα, διαπιστώνεται πως ο όρος μοντέλο υδραυλικού δικτύου περιγράφει μια μαθηματική αναπαράσταση ενός πραγματικού συστύματος ύδρευσης. Τα μοντέλα υδραυλικών δικτύων χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του τρόπου με τον οποίο μια σειρά σωλήνων θα συμπεριφέρεται σε ένα υπάρχον ή πρόσφατα κατασκευασμένο δίκτυο κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών χωρίς να διακόπτεται η ροή του νερού ή του ηλεκτρισμού. Τα δίκτυα διανομής είναι επίσης πιο αποτελεσματικά χάρη σε αυτό το εργαλείο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές απαιτήσεις της αποτελεσματικής διαχείρισης δικτύου, για παράδειγμα και προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης για την εφαρμογή αποτελεσματικών μέτρων. Η ικανότητα ενός συστήματος επαληθεύεται με ανάλυση πιέσεων, ροών, ταχυτήτων, επιπέδων δεξαμενής, περιεκτικότητας σε χλώριο στο δίκτυο κ.λπ. Ειδικές εφαρμογές του σχεδιασμού διαχείρισης πίεσης περιλαμβάνουν το μέγεθος βαλβίδων και μετρητών, σενάρια ροής σε κατάσταση πυρκαγιάς, προσδιορισμό κρίσιμων σημείων πίεσης και ανάλυση ποιότητας νερού. Τη μελέτη της ευαισθησίας και της τρωτότητας των συστημάτων και οι κατάλληλες ενέργειες που πρέπει να γίνουν, όπως ο τρόπος αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης όπως η θραύση ενός αγωγού.

6.3. Τα θεμέλια της υδραυλικής μοντελοποίησης

Ένα δίκτυο διανομής νερού περιγράφεται ως ένα σύστημα κόμβων και συνδέσεων. Ένα νεύμα έναρξης και λήξης πρέπει να αντιστοιχεί σε κάθε σύνδεσμο.

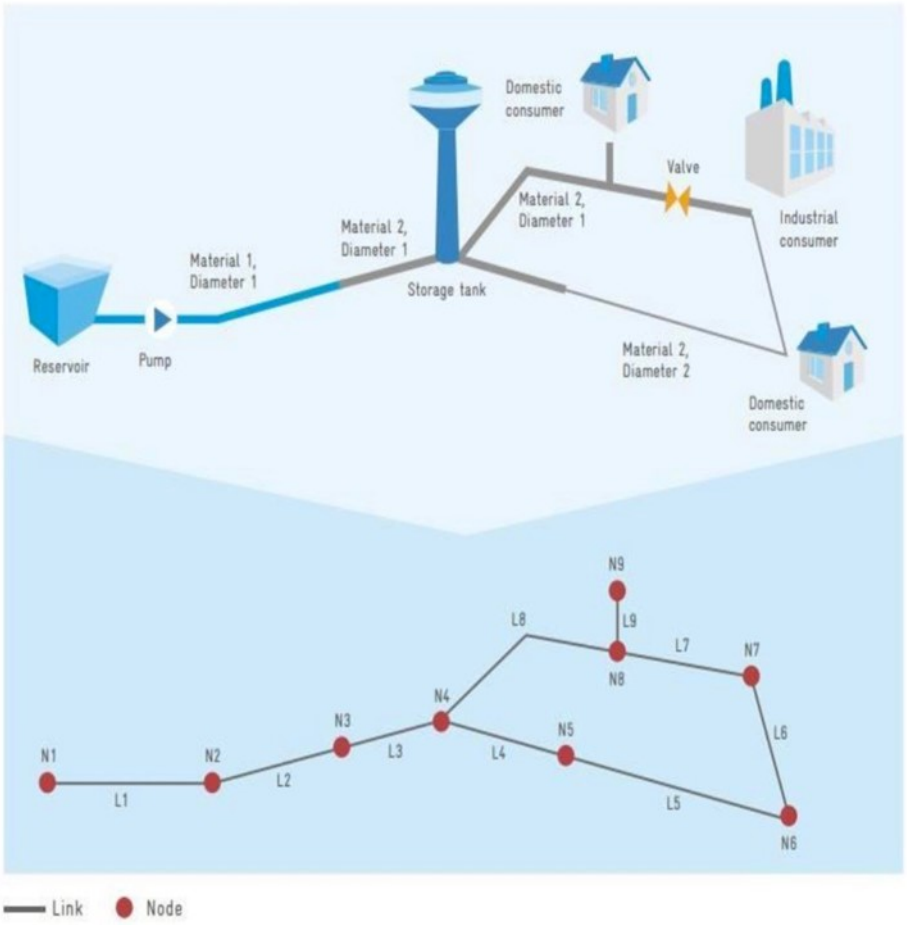
Κάθε γραμμή σωλήνα είναι ομοιογενής. Οι βαλβίδες, οι αντλίες και άλλα εξαρτήματα των δικτύων μπορούν επίσης να προσομοιωθούν από κόμβους. Οι κόμβοι σε ένα τμήμα σωλήνα είναι σημεία όπου αλλάζει ο σωλήνας. Οι κόμβοι χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση των σημείων όπου το νερό εισέρχεται και εξέρχεται από το σύστημα, από δεξαμενές, καταναλωτές και τέλος σημεία σωληνώσεων. Ως φυσικά και μη χαρακτηριστικά του συστήματος θεωρούνται η διάμετρος των σωλήνων, το υλικό, τα ύψη των κόμβων, οι καμπύλες λειτουργίας των αντλιών, οι κανόνες λειτουργίας των βαλβίδων, τα ανώτερα και κάτω επίπεδα των δεξαμενών , κλπ. Ένα διάγραμμα ροής δείχνει μια απλή προσομοίωση ενός δικτύου διανομής νερού (Fallis et al., 2011).

- Δομή δεδομένων (Data Structure)

Τα περισσότερα λογισμικά για τη μοντελοποίηση δικτύων διανομής νερού οργανώνουν τα δεδομένα σε βάσεις δεδομένων και πίνακες με ιεραρχική δομή. Οι πίνακες κόμβων και συνδέσεων αποτελούν το πρώτο επίπεδο αυτής της δομής. Τα πιο σύνθετα χαρακτηριστικά, όπως η τραχύτητα, αποθηκεύονται συνήθως στο δεύτερο και τρίτο πλαίσιο αυτής της δομής.

Οι πίνακες συνδέσεων-κόμβων συνήθως ορίζουν την τοπολογία ενός δικτύου λέγοντας ότι οι αρχικοί και οι τελικοί κόμβοι είναι οι ίδιοι. Οι συντεταγμένες και τα ύψη των κόμβων καθορίζουν τη χωρική κατανομή του δικτύου, η οποία είναι πολύ σημαντικός παράγοντας. Τα προγράμματα προσομοίωσης επιτρέπουν τη διασύνδεση με προγράμματα όπως το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), το Σύστημα Σχεδιασμού (CAD), το Σύστημα Εποπτείας και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA), το Σύστημα Διαχείρισης Συντήρησης Μηχανημάτων (CMMS) και το Σύστημα Πληροφοριών Πελατών (CIS). Η εισαγωγή δεδομένων είναι δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας, της μεγάλης κλίμακας και του όγκου των δεδομένων στο δίκτυο, οπότε γίνεται αυτόματα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 6 Δομή Δεδομένων

- Παράμετροι του μοντέλου (Model Parameters)

Τα χαρακτηριστικά των κόμβων και των συνδέσεων χωρίζονται σε συγκεκριμένες παραμέτρους και μεταβλητές. Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση ενός μοντέλου υδραυλικής προσομοίωσης περιλαμβάνουν τα στοιχεία του συστήματος του δικτύου, όπως σωλήνες, αντλίες και δεξαμενές, καθώς και σημεία διακοπής και συστήματα ελέγχου. Οι μεταβλητές που μετρώνται στο μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνουν πιέσεις κόμβων, ρυθμούς ροής και ταχύτητες, μεταβολές στη στάθμη του νερού της δεξαμενής, δείκτες ποιότητας του νερού, όπως μεταβολές με την πάροδο του χρόνου σε διάφορα σημεία του δικτύου, και πολλά άλλα χαρακτηριστικά. Η ποιότητα και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης επηρεάζονται άμεσα από την ποιότητα των παραμέτρων εισόδου. Είναι απαραίτητο να προσαρμόσουμε την ποιότητα των παραμέτρων εισόδου στα επιθυμητά επίπεδα λειτουργίας του μοντέλου και να επιτύχουμε μια ισορροπία μεταξύ της πληροφοριακής αξίας των αποτελεσμάτων του μοντέλου και των προσπαθειών απόκτησης δεδομένων.

Οι παράμετροι του μοντέλου για τη συλλογή δεδομένων και η ποιότητά τους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Παράμετροι που είναι μετρήσιμες και μετρούνται άμεσα και με ακρίβεια, όπως η θέση ενός αγωγού δικτύου, το υψόμετρο ενός κόμβου, η γεωμετρία μιας δεξαμενής, η λειτουργία μιας αντλίας ή η διαμόρφωση ενός συστήματος ελέγχου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

2. Παράμετροι που δεν υπολογίζονται άμεσα, όπως για παράδειγμα η οικιακή κατανάλωση.
3. Παράμετροι που δεν μετρούνται άμεσα, όπως η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα, η τραχύτητα του σωλήνα, οι απώλειες δικτύου κ.λπ.

Με βαθμονόμηση του μοντέλου είναι εφικτός ο προσδιορισμός του τελευταίου συνόλου παραμέτρων.

- Βαθμονόμηση μοντέλου (Model Calibration)

Η διαδικασία σύγκρισης των μετρούμενων δεδομένων με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (υπό τις ίδιες οριακές συνθήκες) αντιπροσωπεύεται από τη βαθμονόμηση ενός προσομοιωμένου μοντέλου δικτύου. Το μοντέλο προσαρμόζεται έτσι ώστε οι διαφορές μεταξύ του πραγματικού κόσμου και της προσομοίωσης να είναι ελάχιστες. Η βαθμονόμηση του μοντέλου περιλαμβάνει συνήθως παραμέτρους που σχετίζονται με την τραχύτητα του σωλήνα, τις απώλειες νερού και τα συστήματα ελέγχου, αλλά το πιο σημαντικό είναι η βελτιστοποίηση του μοντέλου τραχύτητας του σωλήνα. Συχνά, καθορίζεται η συνολική εξυπηρέτηση του δικτύου. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο το πραγματικό πάχος του σωλήνα, αλλά και άγνωστους παράγοντες όπως η τοπική απώλεια ύψους, η μείωση της διαμέτρου της οπής λόγω κάλυψης ή έδρασης, οι μερικώς κλειστές δικλείδες και οι λανθασμένες πληροφορίες.

Η ανάπτυξη σεναρίων εκδήλωσης πυρκαγιάς και ο προσδιορισμός του κατά πόσον οι ροές και οι πιέσεις του δικτύου επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των σημείων υδροληψίας που εξυπηρετούν το συμβάν. Αυτή η δοκιμή συνήθως γίνεται όταν επιλέξουμε και απομονώσουμε ένα μετρημένο τμήμα του αγωγού όπου η ροή προκαλείται από ένα άνοιγμα μιας καμπύλης. Όταν ο σωλήνας φτάσει σε συνθήκες σταθερής ροής, γίνονται ταυτόχρονες μετρήσεις πίεσης και ροής. Τα συστήματα SCADA (εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων) είναι εξαιρετικά εργαλεία και μια καλή πηγή δεδομένων για τη βαθμονόμηση των μοντέλων.

6.4. Η εισαγωγή των δεδομένων

Τα δεδομένα εισόδου για τα μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες σχετικών συστημάτων πληροφοριών για τα δίκτυα ύδρευσης.

1. Τα γεωγραφικά δεδομένα: προέρχονται από βάσεις δεδομένων χρήσεων γης, συμπεριλαμβανομένων αεροφωτογραφιών, τοπογραφικών χαρτών, κτιριακών δεδομένων, ψηφιακών μοντέλων εδάφους και άλλων βασικών πληροφοριών χρήσιμων για τον προσδιορισμό της φυσικής θέσης του μοντέλου.
2. Οι πληροφορίες για τους σωλήνες, τις αντλίες και τις βαλβίδες καταχωρούνται στο μητρώο δικτύου.
3. Τα λειτουργικά δεδομένα είναι σημαντικά για τον καθορισμό των ελέγχων και των συνθηκών ορίων του μοντέλου υδραυλικού δικτύου. Αυτό περιλαμβάνει πιέσεις, παροχές, επίπεδα νερού δεξαμενής, ρυθμίσεις που ρυθμίζουν τη λειτουργία βαλβίδων, έλεγχο αντλιών κ.λπ. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τα δεδομένα που συλλέγονται.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

4. Τα ερωτήματα για πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα ή την κατανάλωση νερού και τον τρόπο διανομής τους στον χώρο. Τα δεδομένα ζήτησης μπορούν να ληφθούν από διάφορα συστήματα πληροφοριών πελατών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απόκτηση των δεδομένων εισόδου για τη δημιουργία της λειτουργίας του μοντέλου δεν είναι μια εφάπαξ διαδικασία, αλλά μια μόνιμη μακροπρόθεσμη διαδικασία. Προκειμένου να ληφθούν ακριβή αποτελέσματα προσομοίωσης μακροπρόθεσμα, το μοντέλο πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς. (American Water Works Association, 2005).

6.5. Η ρύθμιση του μοντέλου

Καθορισμός στόχων μοντέλου: Για να είναι αποτελεσματικό, ένα μοντέλο προσομοίωσης πρέπει να έχει τους χρήστες ή τις ικανές υπηρεσίες του να θέτουν τους στόχους του πριν από τη συλλογή δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, αφού επιλέξουν τα κατάλληλα δεδομένα, θα μπορούν να λάβουν πιο ακριβή αποτελέσματα. Το επίπεδο ακρίβειας, πληρότητας και λεπτομέρειας καθορίζονται από τις απαιτήσεις για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, τα οποία απαιτούνται και επομένως επηρεάζουν τις προσπάθειες και τα αποτελέσματα μοντελοποίησης.

Συλλογή δεδομένων και προετοιμασία: Τα δεδομένα θα πρέπει να λαμβάνονται και να επεξεργάζονται από ποικίλες πηγές προκειμένου να αναπτυχθούν και να διατηρηθούν μοντέλα που μπορούν να αντιπροσωπεύουν το δίκτυο διανομής με επαρκή ακρίβεια για την επίτευξη των στόχων για τους οποίους δημιουργήθηκε. Ο αντίκτυπος των δεδομένων και η ποιότητα τους στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο πρέπει να καθοριστεί χρησιμοποιώντας τη σωστή κριτική σκέψη του μηχανικού. Η ποσότητα, η ποιότητα και η φύση των διαθέσιμων δεδομένων διαφέρει από κατάσταση σε κατάσταση, καθιστώντας τη διαδικασία αργή και απρόβλεπτη.

Ρύθμιση μοντέλου και βαθμονόμηση: Σε αυτό το βήμα, τα φυσικά και μη φυσικά δεδομένα αφαιρούνται από το σύστημα διανομής νερού και τροποποιούνται στον κόμβο και στα σχέδια σύνδεσης. Επιπλέον, οι παράμετροι πρέπει να προσαρμοστούν στη γενική προσομοίωση. Η βαθμονόμηση και η επαλήθευση του μοντέλου γίνεται επαναληπτικά, έτσι ώστε το μοντέλο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τα πιο αξιόπιστα και ρεαλιστικά αποτελέσματα. (Μαμαλούγας, 2016).

6.6. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου

Εάν το πρόγραμμα υδραυλικής προσομοίωσης χρησιμοποιείται με τον σωστό τρόπο, δηλαδή εάν έχει τη σωστή βάση για υδραυλική προσομοίωση, έγκυρα δεδομένα εισόδου και καλό συντονισμό μοντέλου και συνδυάζεται με τηλεχειριστήριο / έλεγχο δικτύου όπως περιγράφεται παραπάνω, υπάρχουν. πολλαπλά οφέλη για τη λειτουργία του και σχετίζονται με διάφορους τομείς, όπως φαίνεται παρακάτω.

Εντοπισμός των διαρροών: Με τη βοήθεια και χρήση μαθηματικών μοντέλων γίνεται κατανοητή η λειτουργία, η αστοχία, η διακοπή λειτουργίας και άλλες συνθήκες κάθε αντλιοστασίου και η κατάσταση της δεξαμενής νερού σε πραγματικό χρόνο, ώστε να διασφαλίζεται η συνεχής παροχή

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

νερού κατοικημένων περιοχών. Επίσης, διαγνώστηκαν και επισκευάστηκαν έγκαιρα ζημιές στο διασυνδεδεμένο δίκτυο ύδρευσης, συμπεριλαμβανομένων γεωτρήσεων, δεξαμενών και εσωτερικών δικτύων. Τέλος, με τη συνδυασμένη χρήση μετρήσεων εντοπίζονται οι διαρροές στο εσωτερικό δίκτυο, αφενός στο φρεάτιο, που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και ακόμη και τη νύχτα, και αφετέρου τα αποτελέσματα της χρήσης του λογισμικού (KSE) στο τον κεντρικό σταθμό ελέγχου.

Έλεγχος πίεσης δικτύου και λειτουργία: Γίνεται 24ωρη online παρακολούθηση και πρόβλεψη του δικτύου ύδρευσης και ομαλή λειτουργία των διασυνδεδεμένων αγωγών ύδρευσης. Παρακολουθεί επίσης την πίεση του δικτύου και τη μειώνει του δικτύου όταν η κατανάλωση είναι χαμηλή, εξασφαλίζοντας την επάρκεια του δικτύου. Επομένως, με τη ορθολογική διαχείριση της πίεσης, η πίεση και η απώλεια συνδέονται ανάλογα, μειώνοντας τις απώλειες δικτύου.

Εξάλειψη βλαβών και δυσλειτουργίας του συστήματος: Η υδραυλική προσομοίωση εξαλείφει την πιθανότητα υπερπλήρωσης της δεξαμενής και μειώνει τον αριθμό των θραύσεων του σωλήνα. Επιπλέον, οι βλάβες της αντλίας και οι χρονοβόρες διαδικασίες επισκευής και αντικατάστασης μειώνονται σημαντικά

Λειτουργικά οφέλη: Μέσω της μελέτης των αποτελεσμάτων, είναι δυνατό να διασφαλιστεί ότι όλοι οι οικισμοί έχουν επαρκή ποσότητα νερού, να ελεγχθεί η υδατική ισορροπία και να σχεδιαστεί κατάλληλα η επέκταση και τροποποίηση του δικτύου. Επίσης εγγυημένη είναι, η λειτουργία των εγκαταστάσεων του δικτύου. Επιπλέον, η χλωρίωση μπορεί να επιτευχθεί πιο αποτελεσματικά μέσω των σεναρίων προσομοίωσης που διαθέτει το λογισμικό. Τέλος, συλλέγει στατιστικές πληροφορίες που είναι σημαντικές για τον μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και προγραμματισμό των λειτουργιών του δικτύου.

Οικονομικά οφέλη: Τα οικονομικά οφέλη ποικίλλουν. Αρχικά, η ορθολογική διαχείριση του δικτύου αντλιοστασίων, γεωτρήσεων, χωρητικότητα δεξαμενών κ.λπ. θα μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας (έως και 50%) και θα επιφέρει τεράστια οικονομικά κέρδη από την εξοικονόμηση. Μετά την εφαρμογή του συστήματος προσομοίωσης και παρακολούθησης, η απόκλιση του παραγόμενου νερού μειώνεται περίπου στο μισό σε σύγκριση με πριν από την εφαρμογή, επομένως μειώνεται και η διαφορά μεταξύ του νερού που παράγεται και του νερού χρέωσης. Επομένως, η ποσότητα του ακριβού νερού θα αυξηθεί στο πραγματικό επίπεδο κατανάλωσης, γεγονός που θα ωφελήσει την οικονομική ευρωστία της ΔΕΥΑ.

Οφέλη στην ποιότητα του πόσιμου ύδατος: Με αποτελεσματικότερη χλωρίωση και συνεχή παρακολούθηση της συγκέντρωσης χλωρίου στο δίκτυο, η ποιότητα του νερού βελτιώνεται. Η προσομοίωση υπολογίζει επίσης την ηλικία του νερού και βελτιώνει οτιδήποτε συνοδεύει. Ως εκ τούτου, βελτιώνοντας τους δείκτες ποιότητας, οι αρμόδιες αρχές πρέπει να συμμορφώνονται με την ισχύουσα νομοθεσία.

Κοινωνικά οφέλη: Οι λιγότερες διακοπές, οι λιγότερες ξαφνικές αλλαγές στην πίεση και η παρακολούθηση και ρύθμιση των δεικτών ποιότητας του νερού, όπως η ηλικία και το υπολειμματικό χλώριο, βελτιώνουν τις υπηρεσίες για τους τελικούς καταναλωτές. Επιπλέον, μειώνονται σημαντικά οι ενοχλήσεις που οφείλονται σε σπασίματα, διαρροές ή άλλες δυσλειτουργίες. Όλα αυτά έχουν δώσει στους καταναλωτές εμπιστοσύνη στις σχετικές υπηρεσίες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

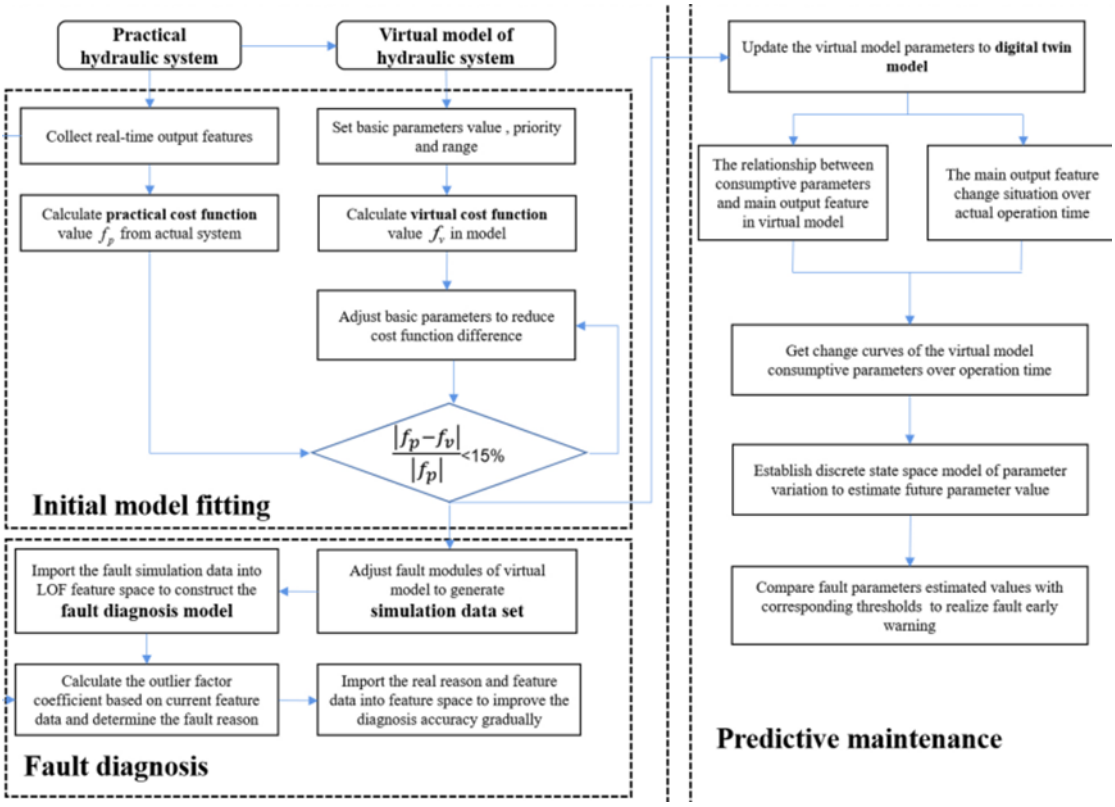
Περιβαλλοντικά οφέλη: Η αποτελεσματικότερη διαχείριση, η εξοικονόμηση αντλιών, η προστασία του υδροφόρου ορίζοντα και η μείωση των απωλειών αποτελούν τρόπους προστασίας των υδάτινων πόρων. Αυτό θα οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη βιώσιμη ανάπτυξη σύμφωνα με την οδηγία-πλαίσιο 2000/60/ΕΚ (Μαμαλούγας, 2016).

6.7 Συντήρηση

Πώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά τα δεδομένα χαρακτηριστικών του πρακτικού υδραυλικού συστήματος και του αντίστοιχου μοντέλου προσομοίωσης για την κατασκευή αποτελεσματικού αλγόριθμου διάγνωσης και πρόβλεψης σφαλμάτων είναι το βασικό ερώτημα του μοντέλου DT. Η ροή εργασίας της στρατηγικής υλοποίησης του μοντέλου DT για το υδραυλικό σύστημα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, το οποίο περιγράφεται με βάση τρεις κύριες κατευθύνσεις:

1. Αρχική τοποθέτηση μοντέλου. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ του πραγματικού υδραυλικού συστήματος και του αντίστοιχου εικονικού μοντέλου, οι συναρτήσεις κόστους κατασκευάζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εξόδου τους. Προσαρμόζοντας τις βασικές παραμέτρους βήμα προς βήμα για τη μείωση της διαφοράς μεταξύ δύο τιμών συνάρτησης κόστους σε λιγότερο από 15%, μπορεί να επιτευχθεί ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο προσομοίωσης.
2. Διάγνωση λόγω βλαβών. Μετά την προετοιμασία του μοντέλου, οι μονάδες σφάλματος μπορούν να ρυθμιστούν, αντίστοιχα, για τη δημιουργία επαρκών συνόλων δεδομένων προσομοίωσης, τα οποία εισάγονται για την κατασκευή του χώρου χαρακτηριστικών του αλγορίθμου διάγνωσης (προβολή δεδομένων χαρακτηριστικών σε χώρο υψηλών διαστάσεων). Με τα δεδομένα χαρακτηριστικών σε πραγματικό χρόνο, το μοντέλο μπορεί να προσδιορίσει την τρέχουσα αιτία σφάλματος. Ταυτόχρονα, τα πραγματικά δεδομένα σφαλμάτων και οι αιτίες διατηρούνται στον χώρο χαρακτηριστικών του αλγορίθμου για να βελτιωθεί σταδιακά η ικανότητα διάγνωσης σφαλμάτων.
3. Προγνωστική συντήρηση. Με την ανάλυση της τάσης διακύμανσης των παραμέτρων κατανάλωσης με χρονικά σημεία στο εικονικό μοντέλο, μπορεί να πραγματοποιηθεί προγνωστική συντήρηση. Στην πραγματική λειτουργία του υδραυλικού συστήματος, συλλέγοντας την αλλαγή του χαρακτηριστικού εξόδου σε πραγματικό χρόνο, το μοντέλο χώρου κατάστασης κάθε παραμέτρου σφάλματος μπορεί να κατασκευαστεί έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η γρήγορη πρόβλεψη και προειδοποίηση για ένα πρακτικό υδραυλικό σύστημα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 7 Η βασική ροή διάγνωσης και πρόβλεψης σφαλμάτων από το ψηφιακό δίδυμο μοντέλο, Πηγή: Wang et. al. , 2022

Κατά την πρώτη ανάπτυξη ενός νέου υδραυλικού συστήματος, έχουν καταγραφεί οι αρχικές παράμετροι της συσκευής, όπως η διάμετρος της υδραυλικής γραμμής, το μήκος γραμμής και η ακτίνα του εμβόλου. Σύμφωνα με αυτές τις παραμέτρους, ένα μοντέλο προσομοίωσης του υδραυλικού συστήματος, το οποίο είναι κοινό στην κατασκευαστική βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων εξαρτημάτων ισχύος, εξαρτημάτων ελέγχου, βοηθητικών στοιχείων, υδραυλικών υγρών, ενεργοποιητών και αντίστοιχων φορτίων, είναι αυτό που στην πραγματικότητα μας ενδιαφέρει.

Με την προσαρμογή των παραμέτρων της μονάδας στο μοντέλο, μπορούν να προσομοιωθούν διαφορετικά υδραυλικά συστήματα. Ωστόσο, οι παράμετροι εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο, όπως ο συντελεστής απόσβεσης σωλήνα και ο συντελεστής απόσβεσης κίνησης του εμβόλου, συχνά δεν είναι ακριβείς σε διαφορετικό περιβάλλον. Επομένως, το πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός διπλού μοντέλου είναι η αντιστάθμιση αυτών των παραμέτρων σε ένα εικονικό μοντέλο, όπου μόνο ένα πρόχειρο εύρος καθορίζεται εκ των προτέρων. Για αυτές τις παραμέτρους, το αρχικό εύρος και η προτεραιότητα ορίζονται σύμφωνα με την εμπειρία στην αρχική περίπτωση και οι παράμετροι υψηλής προτεραιότητας θα πρέπει να προσαρμοστούν εντός του εύρους με ένα μεγάλο βήμα για να ταιριάζουν στο μοντέλο. Λαμβάνοντας υπόψη το υπολογιστικό κόστος, υιοθετείται η μέθοδος συνάρτησης ελάχιστου κόστους (Uddin et. al., 2015).

Ο τύπος σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά εξόδου μετατόπισης κυλίνδρου αναπαρίσταται ως εξής:

fcos t = c1lmax + c2kup − c3kdown + c4thold,

όπου το fcost αντιπροσωπεύει την τιμή της τρέχουσας συνάρτησης κόστους, το lmax είναι η μέγιστη απόσταση που μπορεί να σηκώσει ο ενεργοποιητής, up και kdown, αντίστοιχα,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

αναφέρονται στην απόλυτη κλίση της καμπύλης ανύψωσης του ενεργοποιητή και καμπύλη επιστροφής, και το thold σημαίνει τη διάρκεια ανύψωσης.

Κάθε παράμετρος που χρησιμοποιείται θα πρέπει να προσαρμόζεται στην ίδια τάξη μεγέθους και να εξαλείφει την επίδραση της διάστασης. c1, c2, c3 και c4 είναι οι συντελεστές των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από τη σημασία των αντίστοιχων χαρακτηριστικών εξόδου και το άθροισμα είναι ένα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του υπολογισμού, η διαφορά της καμπύλης εξόδου μετατόπισης μπορεί να φτάσει το 68%.

Ελαχιστοποιώντας τη διαφορά συνάρτησης κόστους μεταξύ του πραγματικού υδραυλικού συστήματος και του εικονικού μοντέλου, αυτές οι επιλεγμένες παράμετροι προσαρμόζονται σταδιακά σε μια πιο λογική τιμή, η οποία είναι ο πυρήνας για την ενημέρωση του εικονικού μοντέλου στο μοντέλο DT. Προκειμένου να αποφευχθεί η αλλαγή μόνο μιας ή δύο παραμέτρων του μοντέλου για τη μείωση του χάσματος της συνάρτησης κόστους, υιοθετείται μια μέθοδος πολλαπλής μέτρησης με μικρό μήκος βήματος. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι αρχικές παράμετροι εικονικού μοντέλου προσαρμόζονται με βάση την προτεραιότητα παραμέτρων, το αρχικό εύρος και τα δεδομένα χαρακτηριστικών σε πραγματικό χρόνο.

Έξι παράμετροι του εικονικού μοντέλου προσαρμόζονται βήμα προς βήμα για να ελαχιστοποιηθεί η τιμή διαφοράς κόστους σε λιγότερο από 15%. Σε αυτή τη διαδικασία, ο συντελεστής κινητικής τριβής που έχει υψηλή προτεραιότητα φτάνει στο αρχικό εύρος ρύθμισης και σταματά να αλλάζει πριν το πλήθος των επαναλήψεων προσαρμογής είναι 37.

6.7.1 Ενημερωμένο μοντέλο διάγνωσης σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο με χρήση αλγόριθμου LOF

Μετά την επίλυση του αρχικού βασικού προβλήματος παραμέτρων του μοντέλου υδραυλικής προσομοίωσης, μπορεί να ληφθεί ένα πιο εφαρμόσιμο μοντέλο υδραυλικού συστήματος. Με τη ρύθμιση διαφόρων μονάδων σφαλμάτων στο μοντέλο του υδραυλικού συστήματος και τη σταδιακή προσαρμογή της τιμής κάθε τύπου παραμέτρου σφάλματος, έχει δημιουργηθεί ένα άφθονο και αποτελεσματικό σύνολο δεδομένων, για το οποίο υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός σχετικού αλγορίθμου μηχανικής εκμάθησης για την πραγματοποίηση ανίχνευσης σφαλμάτων.

Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι διάγνωσης σφαλμάτων, όπως η μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης, ο αλγόριθμος K-πλησιέστερου γείτονα και η ενοποίηση πολλαπλών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, έχουν επιτύχει καλά αποτελέσματα με ένα άφθονο σύνολο δεδομένων. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε κανονικά σφάλματα, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν λανθασμένη εκτίμηση για ειδικά σφάλματα που δεν είναι προκαθορισμένα. Για τα πραγματικά δεδομένα χαρακτηριστικών που αποκτήθηκαν πρόσφατα κατά τη λειτουργία του συστήματος, αυτά τα συνήθως χρησιμοποιούμενα μοντέλα αλγορίθμων μηχανικής εκμάθησης μπορούν να ενημερωθούν μόνο μέσω επανεκπαίδευσης, κάτι που θα απαιτήσει υψηλό υπολογιστικό κόστος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Χαρακτηριστική περίπτωση είναι ο αλγόριθμος Local Outlier Factor (LOF) (Ma et. al., 2013), ο οποίος μπορεί να διαγνώσει τα ειδικά σφάλματα προκαθορίζοντας το κατώφλι σφάλματος και υπολογίζοντας την τιμή του συντελεστή ακραίας τιμής σε πραγματικό χρόνο για να αποφασίσει τους λόγους σφάλματος. Η τιμή κατωφλίου ακραίου επιπέδου για κάθε σφάλμα είναι 1,5 φορές η τιμή του μέγιστου συντελεστή ακραίου συντελεστή στο σύνολο χαρακτηριστικών προσομοίωσης σφάλματος, που περιέχει δεδομένα ελαφράς απόκλισης. Εάν ο συντελεστής ακραίου συντελεστή σε κάθε σύνολο σφαλμάτων είναι μεγαλύτερος από το αντίστοιχο όριο, το σφάλμα διαγιγνώσκεται ως μη φυσιολογικό σφάλμα και ο πραγματικός λόγος σφάλματος λαμβάνεται με βάση τα πρακτικά αποτελέσματα ανίχνευσης. Στο ψηφιακό δίδυμο μοντέλο, για αυτό το είδος μη φυσιολογικού σφάλματος, τα δεδομένα χαρακτηριστικών που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο και ο πραγματικός λόγος σφάλματος μπορούν να εισαχθούν στον χώρο χαρακτηριστικών του αλγόριθμου LOF, ώστε να ενημερωθεί η διάγνωση σφαλμάτων και να οδηγηθούμε σε ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο.

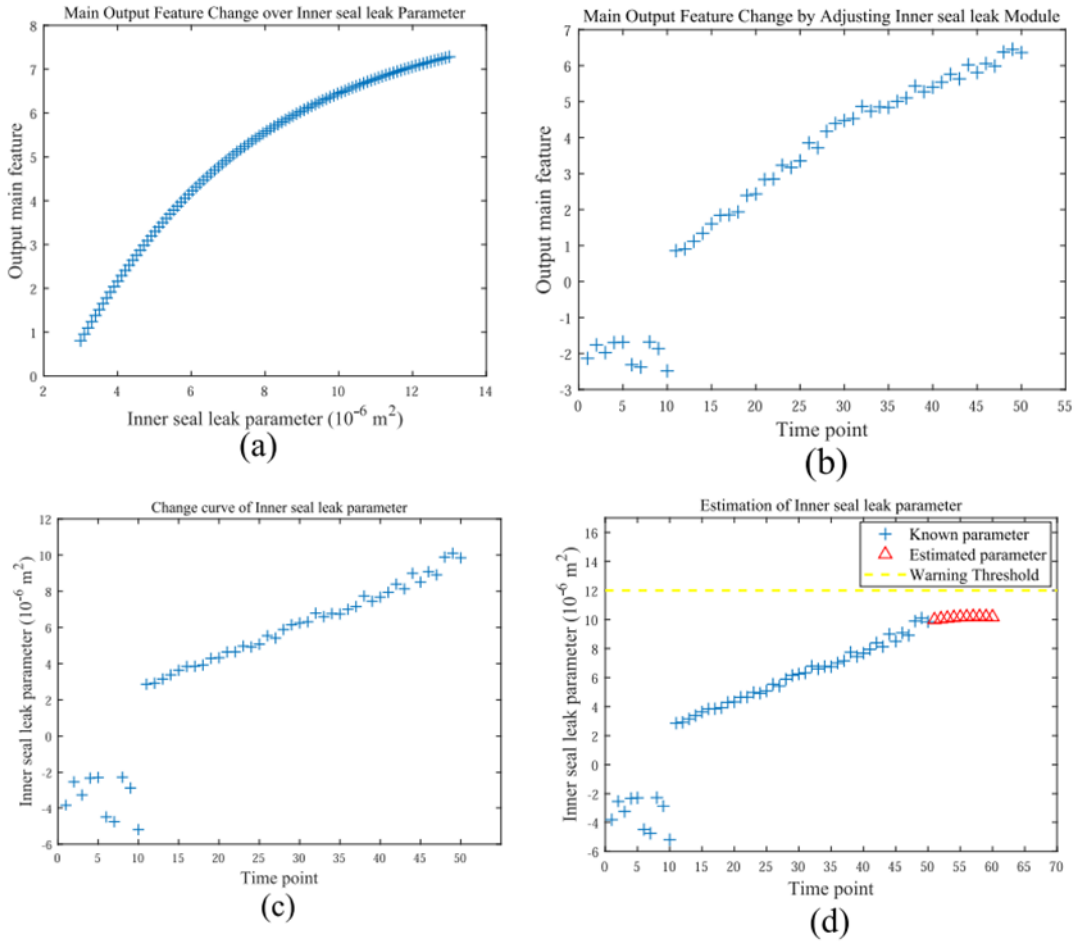
6.7.2 Η προγνωστική συντήρηση με βάση τις παραμέτρους σφάλματος εικονικού μοντέλου

Καθώς ο υδραυλικός εξοπλισμός λειτουργεί για ορισμένο χρονικό διάστημα, πολλές καταναλωτικές παράμετροι, όπως ο συντελεστής μπλοκαρίσματος του αγωγού, ο συντελεστής τριβής ολίσθησης του υδραυλικού ενεργοποιητή και το μέγεθος της περιοχής διαρροής της εσωτερικής στεγανοποίησης, θα αλλάξουν σταδιακά, γεγονός που τελικά θα οδηγήσει σε μεγάλο μέρος των αποτυχιών. Αυτή τη στιγμή, το υδραυλικό σύστημα βρίσκεται ακόμη στο αρχικό στάδιο της βλάβης, το οποίο έχει μόνο μια μικρή μείωση στην απόδοση λειτουργίας και θα είναι δύσκολο να προσδιοριστούν αυτά τα σφάλματα που δεν παρουσιάζονται. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να γίνει έγκαιρη προειδοποίηση σφάλματος σύμφωνα με τη μεταβαλλόμενη τάση απόδοσης σε αυτό το στάδιο. Πριν από την πρόβλεψη κοινού σφάλματος, θα πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η πιο πιθανή τάση σφάλματος στο τρέχον πραγματικό υδραυλικό σύστημα, ώστε να προσδιοριστεί η βασική παράμετρος σφάλματος που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη.

Ο αλγόριθμος LOF που αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί να αποτελέσει λύση. Υπολογίζοντας τον λόγο της τιμής του ακραίου παράγοντα προς την τιμή κατωφλίου για κάθε βασικό σφάλμα, επιλέγεται το ελάχιστο. Το μοντέλο DT που διαθέτει βασικές μονάδες σφαλμάτων μπορεί να δείξει τις πραγματικές αλλαγές του υδραυλικού συστήματος σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που μπορεί να διευκολύνει τους χρήστες να έχουν μια συνολική αντίληψη της πραγματικής κατάστασης λειτουργίας και να πραγματοποιήσουν προγνωστική συντήρηση.

Η συνολική διαδικασία για την ενημέρωση των παραμέτρων σφάλματος μοντέλου απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 8 Τέσσερις φάσεις στη διαδικασία της πρόβλεψης της παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφραγίδας

Τέσσερις φάσεις στη διαδικασία της πρόβλεψης της παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφραγίδας. (α) Σχέση του κύριου χαρακτηριστικού εξόδου και της παραμέτρου σφάλματος. (β) Αλλαγή του κύριου χαρακτηριστικού εξόδου στο υδραυλικό σύστημα. (γ) Αλλαγή παραμέτρων σφάλματος με την πάροδο του χρόνου. δ) Εκτίμηση παραμέτρων σφάλματος και έγκαιρη προειδοποίηση., Πηγή: Wang et. al., 2022

Λαμβάνοντας ως παράδειγμα την αλλαγή παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφράγισης του υδραυλικού κυλίνδρου, εισάγονται τέσσερα κύρια βήματα για την εκτίμηση. Πρώτον, η σχέση μεταξύ του κύριου χαρακτηριστικού εξόδου που εξάγεται από το σύνολο δεδομένων χαρακτηριστικών με τη μέθοδο ανάλυσης κύριου στοιχείου και της παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφράγισης καθορίζεται εκτελώντας το εικονικό μοντέλο και ρυθμίζοντας βήμα προς βήμα την παράμετρο σφάλματος. Αυτή η καμπύλη σχέσης που φαίνεται στο (α) μέρος μπορεί να περιγραφεί από μια κυβική πολυωνυμική συνάρτηση προσαρμογής ως εξής:

$$f(x) = 0{,}0439 \cdot x^3 - 0{,}3372 \cdot x^2 + 1{,}6545 \cdot x + 1{,}6651 \quad (2)$$

Δεύτερον, σ' ένα πρακτικό υδραυλικό σύστημα, η καμπύλη μεταβολής του κύριου χαρακτηριστικού εξόδου με την πάροδο του χρόνου μπορεί να επιλεγεί στην περίοδο λειτουργίας. Το άρθρο προσαρμόζει τη μονάδα αστοχίας εσωτερικής διαρροής στην πειραματική πλατφόρμα από μικρή σε μεγάλη για να προσομοιώσει τη σταδιακή αλλαγή της κατάστασης διαρροής της

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

εσωτερικής σφράγισης του υδραυλικού κυλίνδρου σε μεγάλο χρόνο λειτουργίας, η οποία φαίνεται στο μέρος (β).

Σύμφωνα με τη λειτουργία προσαρμογής και την αλλαγή των πραγματικών δεδομένων χαρακτηριστικών παραπάνω, μπορεί να ληφθεί η καμπύλη μεταβολής της παραμέτρου διαρροής εσωτερικής στεγανοποίησης κατά τη χρονική στιγμή, όπως φαίνεται στο μέρος (γ). Για μια γρήγορη εκτίμηση της παραμέτρου σφάλματος, δημιουργείται το μοντέλο κατάστασης-χώρου διακριτού χρόνου της παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφραγίδας σε χρονικό σημείο, το οποίο χρησιμοποιεί μεταβλητές κατάστασης για να περιγράψει ένα σύστημα με ένα σύνολο διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης. Το μοντέλο κατάστασης-χώρου της αλλαγής παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφραγίδας έχει ως εξής:

Εξίσωση 1 Εξίσωση 1 Μοντέλο κατάστασης-χώρου της αλλαγής παραμέτρου διαρροής εσωτερικής σφραγίδας

$$x(t+T) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0.3808 & 0.6364 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1.224 \\ 0.9187 \end{bmatrix} e(t), \qquad (3)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x(t) + e(t), \qquad (4)$$

όπου x(t) είναι η μεταβλητή κατάστασης στην τρέχουσα ώρα, y(t) είναι ο χρόνος δείγματος που αντιπροσωπεύει την έξοδο στη στιγμή t και e(t) είναι μια μοναδική πηγή θορύβου. Η εκτίμηση της παραμέτρου βασίζεται σε αυτό το μοντέλο χώρου καταστάσεων και τα προβλεπόμενα αποτελέσματα εμφανίζονται στο μέρος (δ).

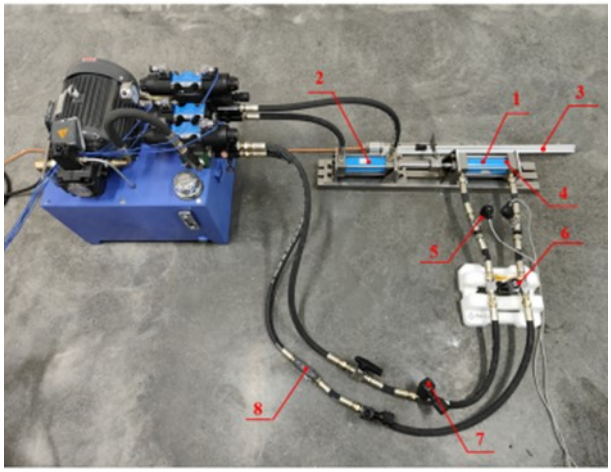
Συμπερασματικά, ορίζοντας ένα αντίστοιχο όριο παραμέτρου σφάλματος με βάση την εμπειρία και συγκρίνοντας το όριο με την τρέχουσα εκτιμώμενη τιμή, μπορεί να πραγματοποιηθεί η προγνωστική συντήρηση του υδραυλικού συστήματος από το μοντέλο DT.

Με βάση τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται από την υδραυλική πλατφόρμα και τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων απόδοσης και κατανάλωσης του μοντέλου προσομοίωσης, αυτές οι παράμετροι στο δίδυμο μοντέλο μπορούν να ενημερωθούν σύμφωνα με το πραγματικό σύστημα. Αφού το σύστημα λειτουργεί για κάποιο χρονικό διάστημα, διατηρεί αυτές τις ενημερωμένες παραμέτρους αμετάβλητες και χρησιμοποιεί τη μέθοδο προσαρμογής του αρχικού μοντέλου για να προσαρμόσετε τις βασικές παραμέτρους. Νέα δεδομένα προσομοίωσης σφαλμάτων μπορούν να ληφθούν από το ψηφιακό δίδυμο μοντέλο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκ νέου εκπαίδευση των αλγορίθμων διάγνωσης και τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους.

6.8. Η διάγνωση βλαβών

Προκειμένου να επαληθευτεί η ακρίβεια της διάγνωσης και η πρακτικότητα του μοντέλου DT στην πραγματική εφαρμογή, συχνά χρησιμοποιούνται ενεργοποιητές υδραυλικού κυλίνδρου και αντίστοιχοι αγωγοί για πειραματική επαλήθευση. Μία τέτοια πειραματική πλατφόρμα με κοινές μονάδες σφάλματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 9 Πειραματική πλατφόρμα με κοινές μονάδες σφάλματος

Πλατφόρμα λειτουργίας υδραυλικού ενεργοποιητή με μονάδες προσομοίωσης βλαβών. Υδραυλικός ενεργοποιητής κυλίνδρου.

1. Υδραυλικός κύλινδρος.
2. Αισθητήρας μετατόπισης.
3. Μονάδα φθοράς εμβόλου.
4. Αισθητήρας πίεσης.
5. Μονάδα διαρροής εσωτερικής στεγανοποίησης.
6. Μονάδα διαρροής εξωτερικής στεγανοποίησης.
7. Μονάδα μπλοκ σωλήνων, Πηγή: Wang et. al. , 2022

Ο πάγκος δοκιμής ήταν εξοπλισμένος με αισθητήρες μετατόπισης και πίεσης και κοινές μονάδες υδραυλικών σφαλμάτων, όπως εσωτερική διαρροή, εξωτερική διαρροή και μπλοκάρισμα, μπορούν να πραγματοποιήσουν την προσομοίωση των κοινών σφαλμάτων και απόκτηση πραγματικών δεδομένων χαρακτηριστικών σε διαφορετικές καταστάσεις σφάλματος.

Οι συγκεκριμένες μέθοδοι προσομοίωσης σφαλμάτων τόσο στο εικονικό μοντέλο όσο και στην πραγματική πλατφόρμα προσομοίωσης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6 Μέθοδοι προσομοίωσης σφαλμάτων

Βασική μονάδα σφάλματος	**Σε εικονικό μοντέλο**	**Σε πλατφόρμα προσομοίωσης**
Μπλοκ σωλήνων	Σύνδεση σταθερού στομίου σε σωλήνες	Σύνδεση σφαιρικής βαλβίδας σε σωλήνες
Διαρροή εξωτερικής στεγανοποίησης	Λάδι διακλάδωσης στη δεξαμενή με βαλβίδα γκαζιού	Σύνδεση της βαλβίδας τριών κατευθύνσεων και της σφαιρικής βαλβίδας στους σωλήνες
Διαρροή εσωτερικής στεγανοποίησης	Σύνδεση σωλήνων εισόδου και εξόδου με στόμιο	Σύνδεση σωλήνων εισόδου και εξόδου με βαλβίδα γκαζιού

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Φθορά εμβόλου	Προσθήκη πρόσθετης δύναμης με αλλαγές μετατόπισης	Αλλαγή της επιφάνειας επαφής στο μπλοκ εμβόλου και κυλίνδρων

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, ορίζοντας ένα κατάλληλο κατώφλι ακραίων συντελεστών, η ακρίβεια διάγνωσης σφαλμάτων του αλγορίθμου με βάση τα πραγματικά δεδομένα χαρακτηριστικών σφαλμάτων είναι η υψηλότερη και η συνολική ακρίβεια μπορεί να φτάσει περισσότερο από 95%. Ωστόσο, στην περίπτωση του μη διαδραστικού μοντέλου εικονικής προσομοίωσης, η ακρίβεια διάγνωσης είναι η χαμηλότερη και η ακρίβεια σε διαφορετικά είδη τύπων σφαλμάτων παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην κακή πιστότητα του το μοντέλο προσομοίωσης. Αντίθετα, ο αλγόριθμος που εκπαιδεύεται από το σύνολο δεδομένων του μοντέλου DT έχει μια προφανή βελτίωση και τη διάγνωση σφαλμάτων

Η ακρίβεια είναι 89%, γεγονός που αποδεικνύει ότι το ενημερωμένο ψηφιακό δίδυμο μοντέλο σε πραγματικό χρόνο έκανε τη διαφορά.

Η ακρίβεια της διάγνωσης σφαλμάτων είναι η υψηλότερη βασιζόμενη εξ ολοκλήρου στο σύνολο δεδομένων ιστορικών χαρακτηριστικών, το οποίο υποδεικνύει τη σημασία των πρακτικών δεδομένων για τη διάγνωση σφαλμάτων και παρέχει επίσης ένα σχήμα για τη βελτίωση της ικανότητας του μοντέλου DT. Με την τοποθέτηση των δεδομένων χαρακτηριστικών σε πραγματικό χρόνο που σημείωσαν τους λόγους πραγματικών σφαλμάτων στον χώρο χαρακτηριστικών του αλγορίθμου LOF που έχει δημιουργηθεί από δεδομένα προσομοίωσης, η ακρίβεια της διάγνωσης σφαλμάτων μπορεί να βελτιωθεί σταδιακά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα διάγνωσης βλαβών και την τάση αλλαγής των κοινών παραμέτρων σφάλματος, μπορεί να κατασκευαστεί η διεπαφή χρήστη για τη συντήρηση του υδραυλικού συστήματος, η οποία αποτελεί σημαντικό μέρος του πενταδιάστατου μοντέλου. Ορίζοντας εκ των προτέρων προτάσεις από ειδικούς και λειτουργίες προειδοποίησης υπό διάφορες συνθήκες σφάλματος, οι χρήστες μπορούν να αποκτήσουν μια στρατηγική συντήρησης σε πραγματικό χρόνο.

6.9. Υφιστάμενα προβλήματα

Σε πολλές χώρες του κόσμου, τα τελευταία χρόνια λαμβάνονται διάφορα μέτρα για τη μεταρρύθμιση του έργου στη διαχείριση της λειτουργίας της υδραυλικής μηχανικής. Το σύστημα διαχείρισης σε ορισμένους τομείς έχει τελειοποιηθεί, ενώ η μορφή διαχείρισης των ίδιων των μονάδων διαχείρισης υδραυλικών μηχανικών στις περισσότερες περιοχές εξακολουθεί να υστερεί. Και ο μετασχηματισμός της ιδεολογίας είναι αργός (Li Mingyuan, 2018).

Υπάρχει περισσότερη διαχείριση προσαρμογής συμπεριφοράς στη διαδικασία διαχείρισης. Επιπλέον, η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των τμημάτων είναι ανεπαρκής, με αποτέλεσμα η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης να είναι χαμηλή. Η υδραυλική μηχανική έχει τη διάσπαρτη διανομή και τις μεγάλες γραμμές για επιθεώρηση. Όταν οι διαχειριστές επιθεωρούν την τοποθεσία υδραυλικής μηχανικής, η λειτουργία χαρτιού-μέσου χρησιμοποιείται συχνά για την καταγραφή των καταστάσεων επιθεώρησης και πληκτρολογείται σε έναν υπολογιστή από άτομα. Η μη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

αυτόματη καταχώριση έχει το μεγάλο μέγεθος δεδομένων και είναι εύκολο να πάει στραβά ειδικά σε ό,τι αφορά στη διαδικασία πληκτρολόγησης των στοιχείων.

Εν τω μεταξύ, επηρεασμένο από μια σειρά αβέβαιων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του περιβάλλοντος εδάφους, της ποιότητας του προσωπικού και των καιρικών συνθηκών, έχει χαμηλή απόδοση, μεγάλες περιόδους επανελέγχου και χαμηλή ακρίβεια των δεδομένων επιθεώρησης. Επίσης, μετά την είσοδο στην εποχή της πληροφορίας, η τεχνολογία πληροφοριών του Internet of things έχει ραγδαία ανάπτυξη, ενώ η τεχνολογία παρακολούθησης της υδραυλικής μηχανικής γενικά είναι χαμηλή και είναι σοβαρά ασυντόνιστη με την κοινωνική τεχνολογική ανάπτυξη, έτσι ώστε να επηρεάζει σοβαρά την ποιότητα εργασίας και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής διαχείρισης (Liu Fang, 2018).

6.10. Αναγκαιότητα εφαρμογής της τεχνικής digital twin

Η έννοια του ψηφιακού διδύμου προτάθηκε από τον καθηγητή Grieves στο μάθημα διαχείρισης πλήρους κύκλου ζωής του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν. Στη συνέχεια, το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών πρότεινε τη χρήση της τεχνικής ψηφιακών δίδυμων στη συντήρηση και τη διαφύλαξη της υγείας των αεροδιαστημικών αεροσκαφών.

Εν ολίγοις, η τεχνική ψηφιακών δίδυμων αναπτύσσει διάφορους αισθητήρες στις φυσικές οντότητες. Με την αίσθηση της λειτουργικής κατάστασης του φυσικού κόσμου, το εικονικό μοντέλο που χαρτογραφείται αμοιβαία, αλληλοεπιδρά και συνεργάζεται αποτελεσματικά με τις φυσικές οντότητες στον κυβερνοχώρο. Αυτό το μοντέλο μπορεί να αποκαλύψει τις γεωμετρικές παραμέτρους, τις φυσικές ιδιότητες και τους κανόνες λειτουργίας των φυσικών οντοτήτων.

Το μοντέλο λειτουργεί με αξιολόγηση, βελτιστοποίηση, πρόβλεψη και αξιολόγηση. Με βάση τις φυσικές οντότητες και το εικονικό μοντέλο, την έξυπνη λειτουργία, τον ακριβή έλεγχο και την αξιόπιστη λειτουργία και μπορούν να παρέχονται υπηρεσίες συντήρησης (Akebail Mehmet, 2015).

6.10.1 Συνδυασμός μεταξύ της τεχνικής digital twin και της υδραυλικής μηχανικής

Ο συνδυασμός της τεχνικής digital twin και της υδραυλικής μηχανικής μπορεί να απαλλαγεί από την παραδοσιακή χειροκίνητη λειτουργία διαχείρισης, να συσχετιστεί με κάθε μέρος της κατασκευής υδραυλικής μηχανικής και να πραγματοποιήσει κοινή χρήση πληροφοριών, άνετη επικοινωνία και ανταλλαγή. Ταυτόχρονα, η χρήση της τεχνικής digital twin μπορεί να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή υδραυλικής μηχανικής, να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και το επίπεδο διαχείρισης και να εγγυηθεί την ποιότητα κατασκευής της υδραυλικής μηχανικής.

Ανάλογα με την τεχνική του digital twin, οι πληροφορίες μπορούν να συλλεχθούν αυτόματα για να διασφαλιστεί ότι οι πληροφορίες που συλλέγονται από το σύστημα είναι πραγματικές, αξιόπιστες και ακριβείς. Εν τω μεταξύ, οι πληροφορίες στη διαδικασία κατασκευής της υδραυλικής μηχανικής περνάν από συστηματική επεξεργασία για να παρέχουν επιστημονική βάση στους λήπτες αποφάσεων. Στη διαχείριση λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής, η τεχνική του «ψηφιακού διδύμου» χρησιμοποιείται για την κατασκευή του ενιαίου συστήματος πληροφοριών διαχείρισης,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

την πραγματοποίηση της λειτουργίας πληροφόρησης της διαχείρισης κατασκευών υδραυλικής μηχανικής και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας πληροφοριών. Η χρήση της τεχνικής digital twin τεχνολογίας μπορεί να πραγματοποιήσει τη μετάβαση από την παράδοση στη νεωτερικότητα και από το χαρτί στην ψηφιοποίηση, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η κοινή χρήση πόρων, η εύκολη έρευνα και η γρήγορη χρήση και να προωθηθεί η επιτυχής ανάπτυξη του εκσυγχρονισμού εξοικονόμησης νερού

6.11. Χαρακτηριστικά εφαρμογής της τεχνικής digital twin

Περιεκτικότητα: η ψηφιακή διπλή τεχνική διεξάγει την πλήρη ανακατασκευή στοιχείων για φυσικές οντότητες στον φυσικό χώρο, εφαρμόζει την ολοκληρωμένη αίσθηση και έλεγχο για ανθρώπους, μηχανές, αντικείμενα, κανόνες και διαδικασίες και πραγματοποιεί τη βέλτιστη διαμόρφωση διαφόρων πόρων.

Επαναληπτική βελτιστοποίηση: η τεχνική digital twin χρησιμοποιείται για την κατασκευή του συστήματος αυτόματης κυκλοφορίας δεδομένων κλειστού βρόχου με «αίσθηση κατάστασης, ανάλυση σε πραγματικό χρόνο, επιστημονική λήψη αποφάσεων και ακριβή εκτέλεση». Τα δεδομένα συσσωρεύονται συνεχώς και αυξάνονται με σπειροειδή τρόπο σε αυτή τη διαδικασία, έτσι ώστε να παράγονται συνεχώς βέλτιστα δεδομένα.

Αυτονομία: η ψηφιακή διπλή τεχνική επιτρέπει στον χώρο πληροφοριών να ενσωματωθεί σε βάθος με τον φυσικό χώρο και οδηγεί στην αυτόματη παραγωγή δεδομένων, την αυτόματη μεταφορά, την αυτόματη ανάλυση και την αυτόματη εκτέλεση. Κάθε υποσύστημα οργανώνεται σε ομάδες που συνεργάζονται μεταξύ τους για να πραγματοποιηθεί η διασύνδεση. Τα δεδομένα και οι παράμετροι ελέγχου αποθηκεύονται στο σύστημα, επομένως το σύστημα έχει την ικανότητα αυτοεξέλιξης και βελτίωσης της μάθησης και μπορεί να αντιμετωπίσει σε μεγάλο βαθμό τις περίπλοκες περιβαλλοντικές αλλαγές (Tao Fei et. al., 2018).

6.11.1 Η αρχιτεκτονική συστήματος διαχείρισης λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής με βάση την τεχνική ψηφιακής διπλής λειτουργίας

Ο απώτερος σκοπός του συνδυασμού μεταξύ της ψηφιακής διπλής τεχνικής και της διαχείρισης λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής είναι, η επίτευξη της άριστης διαχείρισης της υδραυλικής μηχανικής, η βελτίωση της απόδοσης της διαμόρφωσης των πόρων η επίτευξη της έξυπνης λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής και η αξιόπιστη λειτουργία και διαχείρισή της. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί κάθε υποσύστημα με βάση την τεχνική του digital twin. Η υλοποίηση κάθε υποσυστήματος χρειάζεται την αυτόματη διακίνηση δεδομένων. Με άλλα λόγια, διάφοροι αισθητήρες και Διαδίκτυο των Πραγμάτων χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των υπολειπόμενων δεδομένων, πίσω από φυσικές οντότητες σε ρητά δεδομένα. Στη συνέχεια, η μηχανική μάθηση και η εξόρυξη δεδομένων ή άλλες τεχνολογίες ανάλυσης επεξεργασίας δεδομένων χρησιμοποιούνται για να διαπιστωθεί η σχέση αιτιότητας ή συσχέτισης στα δεδομένα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Τα ρητά δεδομένα μπορούν να μετατραπούν σε πιο διαισθητικές και κατανοητές πληροφορίες. Υπό τις συνθήκες περιορισμού, σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα και την εμπειρία, το σύστημα στο μέλλον προβλέπεται να λάβει τη βέλτιστη απόφαση. Η τελική λήψη αποφάσεων μετατρέπεται σε εκτελεστική διοίκηση σε φυσικές οντότητες της υδραυλικής μηχανικής και ελέγχει διάφορες συσκευές, διασφαλίζοντας την αξιόπιστη λειτουργία των φυσικών οντοτήτων και να πραγματοποιείται ο ορθολογικός προγραμματισμός των πόρων. Σε αυτή τη διατριβή, από τη σκοπιά της κυκλοφορίας δεδομένων, το σύστημα διαχείρισης λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής που βασίζεται στην τεχνική digital twin χωρίζεται σε πέντε επίπεδα, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού στρώματος, του στρώματος ανίχνευσης, του αναλυτικού επιπέδου, του επιπέδου λήψης αποφάσεων και του εκτελεστικού επιπέδου (Liu Wanlong, 2018).

1. ***Φυσικό επίπεδο:*** Το φυσικό επίπεδο περιέχει διάφορες φυσικές οντότητες και συσκευές εξοπλισμού. Υπάρχει αντικειμενικά και είναι η αρχή ολόκληρου του συστήματος δεδομένων κλειστού βρόχου, η πηγή ισχύος της αυτόματης κυκλοφορίας δεδομένων και το αντικείμενο της τελικής εκτέλεσης της λήψης αποφάσεων.
2. ***Επίπεδο ανίχνευσης***: Το επίπεδο ανίχνευσης αποκτά τα δεδομένα της κατάστασης φυσικής οντότητας, χρησιμοποιεί αισθητήρες και Διαδίκτυο των πραγμάτων για να ανιχνεύσει το μέγεθος, τη θερμοκρασία και την κατάσταση λειτουργίας των φυσικών συσκευών και αλλάζει τα υπολειπόμενα δεδομένα πίσω από τις φυσικές οντότητες σε ορατά και ρητά δεδομένα.
3. ***Αναλυτικό επίπεδο***: Το αναλυτικό επίπεδο διεξάγει γνωστικούς υπολογισμούς, ανάλυση και συλλογισμό για ρητά δεδομένα, χρησιμοποιεί εξόρυξη δεδομένων και ανάλυση ομαδοποίησης για να κάνει τα ρητά δεδομένα διαφανή και τα μετατρέπει σε πληροφορίες για ποιοτική κατανόηση.
4. ***Επίπεδο λήψης αποφάσεων***: Το σύστημα διαχείρισης λειτουργίας της υδραυλικής μηχανικής που βασίζεται στην τεχνική του ψηφιακού διπλού θα αποκτήσει πληροφορίες από διαφορετικά υποσυστήματα. Σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα, ρεαλιστική αξιολόγηση και μελλοντική πρόβλεψη, οι πληροφορίες αναλύονται και κρίνονται περαιτέρω, έτσι ώστε να μετατρέπονται σε πληροφορίες στο επίπεδο γνώσης. Στη συνέχεια, λαμβάνεται μια βέλτιστη απόφαση υπό τις συνθήκες περιορισμού.
5. ***Εκτελεστικό επίπεδο***: Η λήψη αποφάσεων τελικά θα ενεργήσει στον φυσικό χώρο. Το εκτελεστικό επίπεδο μετατρέπει τη λήψη αποφάσεων σε εντολή που πρέπει να εκτελεστεί από φυσικές οντότητες, οι οποίες θα δέχονται διάφορες εντολές στη φόρμα δεδομένων για να ολοκληρώσουν την αντίστοιχη λειτουργία, ώστε να πραγματοποιήσουν αξιόπιστη λειτουργία και συντήρηση φυσικών συσκευών και ορθολογικό προγραμματισμό των πόρων

Βασικά πλεονεκτήματα

- Αυτόματο σύστημα παρακολούθησης λειτουργίας

Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση εργασίας, είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί το αυτόματο σύστημα παρακολούθησης λειτουργίας, το οποίο χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση αυτόματης παρακολούθησης, που εμπλέκεται σε διάφορα όργανα τηλεμέτρησης, μονάδες λήψης δεδομένων, δίκτυα επικοινωνίας επί τόπου, σύστημα επικοινωνίας δεδομένων και διαχείριση

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

παρακολούθησης, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί αποτελεσματική μεταφορά πληροφοριών και να επιτευχθεί αποτελεσματικότητα, τυποποίηση και αυτοματοποίηση της συντήρησης (Wang Hui et. al., 2013).

Το αυτόματο σύστημα παρακολούθησης λειτουργίας ανιχνεύει νερό των πυλών, την κατάσταση ανοιχτού-κλεισίματος και το άνοιγμα των πυλών, καθώς και την αυτόματη λήψη και μεταφορά πληροφοριών απεικόνισης, με στόχο τον έλεγχο του ανοίγματος-κλεισίματος της πύλης του κέντρου παρακολούθησης και την επίβλεψη των υπολογιστικών δεδομένων. Το εύρος ορίων μπορεί να προκαθοριστεί για αυτές τις τιμές παραμέτρων. Όταν υπερβαίνουν το όριο ή επαναλαμβάνουν το μοτίβο, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται τα αντίστοιχα μέτρα (Chen Dajun, 2018).

- Σύστημα προγνωστικής και διαχείρισης υγείας (PHM).

Προγνωστικά και διαχείριση υγείας (PHM) σημαίνει τη χρήση διαφόρων αισθητήρων και μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων για την αξιολόγηση της κατάστασης της υγείας του εξοπλισμού και την πρόβλεψη αστοχίας και υπολειπόμενης ζωής του εξοπλισμού, έτσι ώστε να μετατραπεί η παραδοσιακή συντήρηση βλάβης σε προ-συντήρηση. Το PHM που οδηγείται από ψηφιακό δίδυμο προωθείται από δίδυμα δεδομένα για να διαμορφώσουν το νέο τρόπο διαχείρισης εξοπλισμού υγείας, να συνειδητοποιήσουν την ταχεία καταγραφή της βλάβης, να εντοπίσουν με ακρίβεια τα αίτια της αστοχίας, να σχεδιάσει και να επαληθεύσει τη στρατηγική συντήρησης εύλογα με βάση τη σύγχρονη χαρτογράφηση και την αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο των φυσικών συσκευών και εικονικό εξοπλισμό, καθώς και ακριβείς υπηρεσίες PHM. Αυτό το σύστημα διαμορφώνεται με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο δεδομένων, το οποίο περιέχει όλα τα είδη δεδομένων και πληροφοριών στη διαχείριση κατασκευής και λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής και εξαρτάται από τη συσχέτιση μεταξύ όλων των ειδών δεδομένων και πληροφοριών για την κατασκευή του εικονικού μοντέλου στον εικονικό χώρο. Αυτό το μοντέλο συνδέεται δυναμικά με ρεαλιστικές φυσικές οντότητες και μπορεί να επιλύσει πραγματικές πληροφορίες και καταστάσεις υδραυλικής μηχανικής σε πραγματικό χρόνο.

Για παράδειγμα, οι αλλαγές ροής νερού, η κλίμακα μηχανικής και οι συνθήκες εργασίας του εξοπλισμού επηρεάζουν την προσομοίωση. Αυτό το εικονικό μοντέλο μπορεί να αναφέρεται στις πληροφορίες, τα δεδομένα και τις παραμέτρους που συλλέγονται για να αξιολογηθεί εάν η υδραυλική μηχανική είναι ασφαλής. Επίσης, αυτό το μοντέλο μπορεί να προβλέψει και να ανακαλύψει πιθανά προβλήματα στην κατασκευή υδραυλικής μηχανικής.

- Σύστημα διαχείρισης λειτουργίας βασισμένο στην τεχνική digital twin

Η λειτουργία της υδραυλικής μηχανικής χρειάζεται να ενισχύσει τη διαχείριση. Για το λόγο αυτό, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα λήψης αποφάσεων που να καλύπτει όλες τις κατευθύνσεις, συμπεριλαμβανομένων νόμων, κανονισμών, συστημάτων και πολιτικών στη βιομηχανία εξοικονόμησης νερού, προηγούμενων λύσεων και τρόπου αντιμετώπισης παρόμοιων προβλημάτων, καθώς και σχολίων και γνωμών βιομηχανικών εμπειρογνωμόνων. Όλα τα σχήματα διαχείρισης λειτουργίας και οι πληροφορίες λήψης αποφάσεων συνοψίζονται και συγκεντρώνονται για να σχηματιστεί τελικά ένα ολοκληρωμένο και ενιαίο σύστημα λήψης αποφάσεων. Το εικονικό μοντέλο κατασκευάζεται για να προσομοιώνει διάφορα σχήματα και

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

τελικά να σχηματίζει το ιδανικό σχήμα σκοπιμότητας μέσω της επιστημονικής ανάλυσης. Η υδραυλική μηχανική και το σύστημα διαχείρισης λειτουργίας του εικονικού μοντέλου συνεισφέρουν στην αποτελεσματικότερη διαχείριση και προάγουν την εξέλιξη της υδραυλικής μηχανικής. Ανάλογα με αυτό το σύστημα διαχείρισης, μπορεί να πραγματοποιηθεί η υψηλής απόδοσης διαχείριση υδραυλικής μηχανικής.

6.12. Αντίμετρα

Η τεχνική ψηφιακής διπλής λειτουργίας χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της λειτουργίας υδραυλικής μηχανικής. Οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο θα πρέπει πρώτα να διευρύνουν τις επενδύσεις έρευνας και ανάπτυξης σε σχετικούς τομείς της τεχνικής ψηφιακών δίδυμων, να μετριάσουν τις επιβαρύνσεις αναλόγως με τα φορολογικά έσοδα, να δημιουργήσει ένα ταμείο για την ενθάρρυνση της επιχειρηματικότητας για συναφείς τεχνικούς τομείς και να βοηθήσουν βασικές επιχειρήσεις. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να καθοδηγούν θετικά τα κοινωνικά κεφάλαια για την κατασκευή υδραυλικής μηχανικής, να θεωρούν τις κρατικές επενδύσεις ως καθοδήγηση, να ενισχύουν περαιτέρω την κεφαλαιακή υποστήριξη, να προωθούν και διευρύνουν τις συνολικές αποτελεσματικές επενδύσεις.

Καθοδηγούμενοι από αρμόδιες κυβερνητικές υπηρεσίες, σύμφωνα με τις θέσεις των εργαζομένων και τις υπεύθυνες εργασίες και το εύρος εργασίας τους, είναι απαραίτητο να κάνουν τη συγκεκριμένη εκπαίδευση, έτσι θα αποδεχτούν την ολοκαίνουργια φιλοσοφία, θα εμπλουτιστούν θετικά, θα κυριαρχήσουν ορισμένες προηγμένες τεχνολογίες και θα βελτιωθούν το τεχνικό τους επίπεδο και την επαγγελματική τους ποιότητα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Μελέτες Περιπτώσεων

Είναι γεγονός πως για να θεωρηθεί ένα δίκτυο πως δουλεύει κατάλληλα και κυρίως με ορθό τρόπο απαιτείται να εξασφαλίζει επαρκή ποσότητα αλλά και ποιότητα νερού στους καταναλωτές του. Προς αυτήν την κατεύθυνση, το τελευταίο χρονικό διάστημα, έχει βγει στην αγορά μια ευρεία γκάμα υπολογιστικών πακέτων ανάλυσης δικτύων, τα οποία στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα και αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για κάθε μελετητή που θέλει να σχεδιάσει ένα δίκτυο ύδρευσης ή την εκάστοτε υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για την διαχείριση ενός δικτύου με σκοπό την ορθολογική και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων, τόσο από πλευράς τεχνικής όσο και οικονομικής. Ειδικότερα, τα υδραυλικά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να προσομοιώνουν κάθε υπάρχουσα λειτουργία και κατάσταση ενός δικτύου, να προχωρούν σε αναλύσεις βάσει διαφορετικών σεναρίων και εκδοχών και να μπορούν να προτείνουν την πιο ιδανική λύση, η οποία θα λαμβάνει υπόψιν της, εκτός της παραμέτρου της ηλικίας του νερού και την ποιότητά του.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη δυνατότητα που δίνεται να απεικονίζονται με διαφορετικούς χρωματισμούς τα αποτελέσματα ως προς την ηλικία του νερού πριν και μετά τις τροποποιήσεις που εφαρμόστηκαν από τον μελετητή, οι οποίοι με τη σειρά τους επιτρέπουν τον εντοπισμό των κρίσιμων περιοχών πάνω στο χάρτη χωρίς την απαίτηση κάποιας δειγματοληψίας, διαδικασία που έχει αποδειχτεί ασύμφορη από πλευράς κόστους και χρόνου.

Στις παρακάτω περιπτώσεις δικτύων προς μελέτη εφαρμόζεται μία ποικιλία σεναρίων που κυρίως κινείται πάνω στους παρακάτω άξονες σε όρους ποσότητας, πίεσης και ποιότητας-ηλικίας:

- της αρχικά υφιστάμενης κατάστασης που δεν έχει γίνει καμία ζωνοποίηση ή άλλη στρατηγική τμηματικής διαχείρισης.
- της επιρροής που έχει ο χωρισμός του δικτύου σε στεγανές υποζώνες
- της επιρροής που έχει η εφαρμογή ρύθμισης της πίεσης μέσω βαλβίδων στις εισόδους των χωρισμένων στεγανών υποζωνών.

Οι 5 περιοχές που θα αναλυθούν παρακάτω και μελετηθήκανε, όχι ακριβώς υπό ίσους και όμοιους όρους είναι:

- Η κωμόπολη της Αιανής μια ομαλή γεωγραφικά περιοχή περιορισμένη πληθυσμιακά στην οποία θα δούμε την επιρροή της τματοποίησης του δικτύου σε στεγανές υποζώνες σε όρους ποιότητας και πίεσης.
- Η πόλη της Καρδίτσας μια ομαλή γεωγραφικά πόλη, ένα δίκτυο με μοναδική τροφοδοσία από το φράγμα του Μέγδοβα, με μεγαλύτερες ανάγκες και πολύ μεγαλύτερη πληθυσμιακή κάλυψη.
- Η περιοχή της Νέας Δημητριάδας του δήμου Βόλου που αποτελεί τμήμα του γενικότερου δικτύου η υδροδότησης της πόλης με ξεχωριστά χαρακτηριστικά όπως μετρούμενη ποσότητα νερού νέο εγκατεστημένο δίκτυο πολυαιθυλενίου με πολύ μικρές απώλειες γραμμική η γεωγραφική ποικιλία και καλή πληθυσμιακή κατανομή.
- Η κωμόπολη της Κω μια σχετικά γεωγραφικά περιορισμένη πολλοί με πολύ παλιό δίκτυο και τεράστια διακύμανση πληθυσμού μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

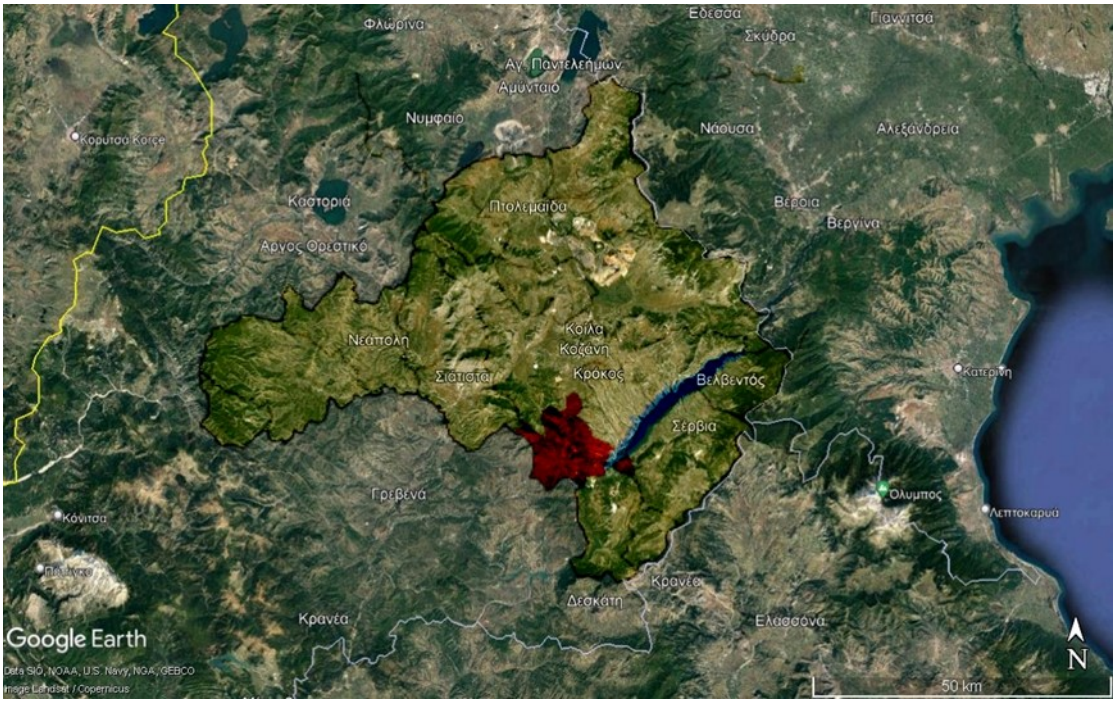
- Τέλος η εκτενής μελέτη της πόλης της Κοζάνης με το καλυτέρα βαθμονομημένο ψηφιακό δίδυμο από όλες τις μελετώμενες περιοχές, μια πόλη με έντονο γεωγραφικό ενδιαφέρον, κεντρική πύκνωση πληθυσμού, ηλικιωμένο δίκτυο μεγάλο ποσοστό απωλειών αλλά και πολύ μεγάλο δυναμικό ρύθμισης της πίεσης ή και ανάκτησης της ενέργειας.

Πρέπει να εξηγηθεί πως η κάθε περίπτωση μελέτης έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και για αυτό δεν μπορούμε να ανάγουμε τα αποτελέσματα της κάθε μίας στο ίδιο επίπεδο και την ίδια αξία. Σίγουρα όμως 5 διαφορετικές περιοχές και διαφορετικές απαιτήσεις και γεωμετρία μας έδωσαν ένα σκεδασμένο σύνολο δεδομένων και μας συμπλήρωσαν το ευρύ παζλ της διαχείρισης.

7.1. Η περίπτωση της πόλης της Αιανής

7.1.1. Λίγα λόγια για την Αιανή

Η Αιανή είναι η πιο γνωστή κωμόπολη του νομού Κοζάνης και στην πραγματικότητα αποτελεί την ιστορική έδρα του ομώνυμου δήμου. Εντοπίζεται πλησίον του ποταμού Αλιάκμονα ενώ βρίσκεται μόλις 22 χλμ. νότια της πόλης της Κοζάνης. Με το αυτοδιοικητικό πρόγραμμα Καποδίστρας ο Δήμος Αιανής δημιουργήθηκε από την ένωση πολλών μικρότερων περιοχών ενώ πλέον μετά και την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης, εντάσσεται ως δημοτικό διαμέρισμα στον δήμο Κοζάνης. Γεωγραφικά, η περιοχή αυτή βρίσκεται πολύ κοντά στα σύνορα με τον γειτονικό νομό των Γρεβενών, στο νότιο μέρος του νομού Κοζάνης.

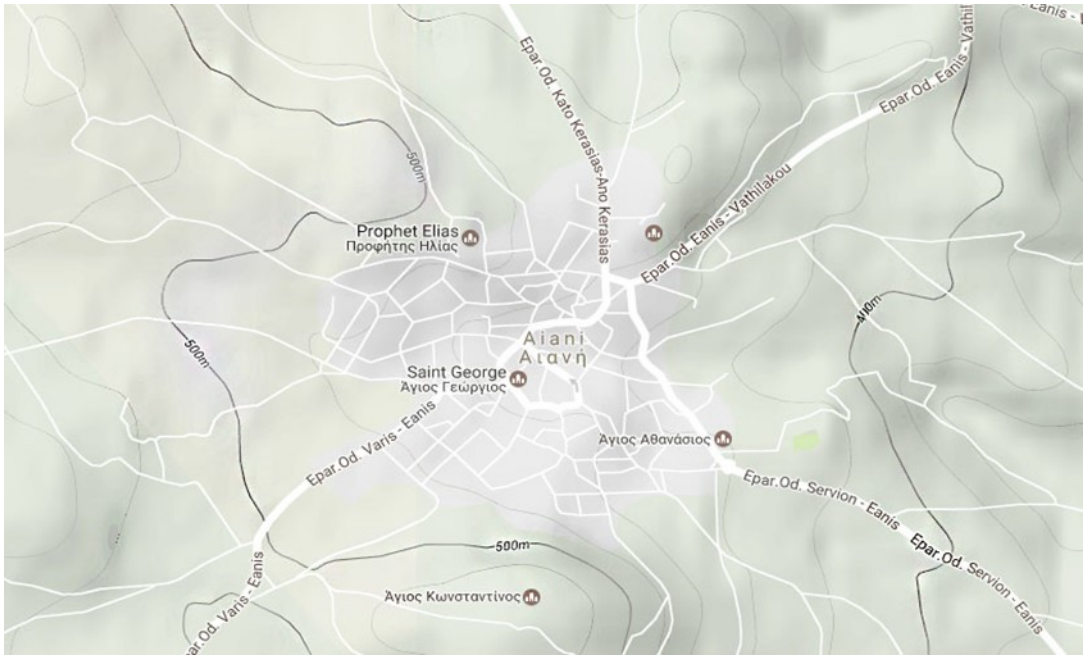


Εικόνα 10 Η περιοχή της Αιανής. Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας

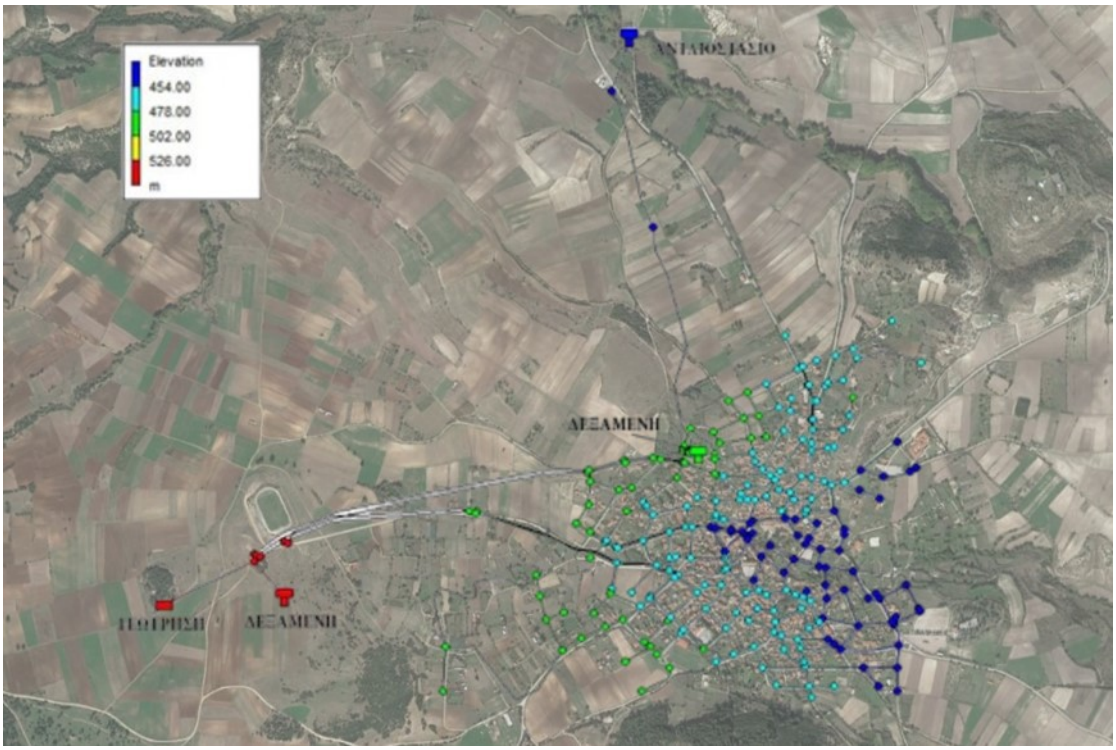
Η περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο που φτάνει τα 460 μέτρα. Σε ό,τι αφορά στο δίκτυο της περιοχής αυτό εκτείνεται μεταξύ των 432 μέτρων με 547 μέτρα αντίστοιχα. Αυτό στην πραγματικότητα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

σημαίνει πως υπάρχει μεγάλη βαρυτική επίδραση στο δίκτυο ύδρευσης, η οποία διαδραματίζει εξέχοντα ρόλο για την ποιότητα και εξίσου για την πίεση του νερού.



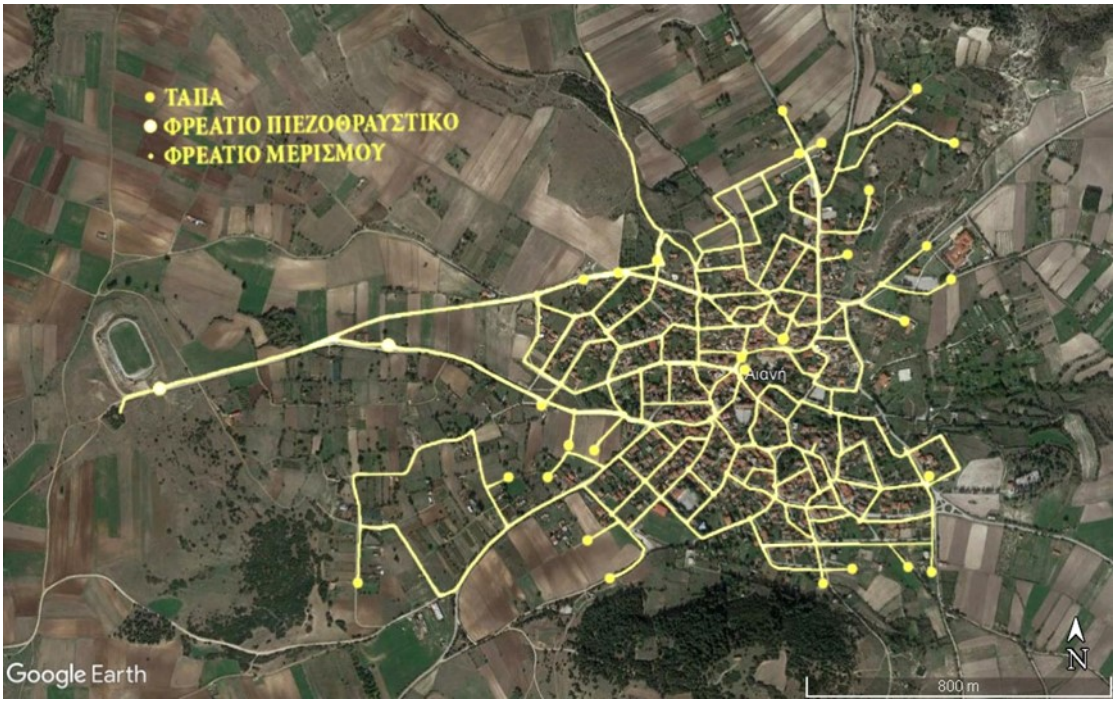
Εικόνα 11 Τοπογραφικός χάρτης Αιανής



Εικόνα 12 Αποτύπωση υδραυλικού μοντέλου της πόλης της Αιανής

Περιλαμβάνει 329 αγωγούς με το συνολικό τους μήκος να φτάνει τα 28.846 μέτρα. Το υλικό κατασκευής τους είναι PVC με ονομαστικές διαμέτρους που κυμαίνονται μεταξύ 63mm και 225 mm. Γενικότερα, το όλο σύστημα αποτελείται από 809 μετρητές κατανάλωσης, 30 τάπες, 140 βαλβίδες, 2 πιεζοθραυστικά φρεάτια και 62 φρεάτια μερισμού όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα (Κούρμπασης 2017).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 13 Δίκτυο Αιανής σε μορφή CAD

Ακολουθούν στοιχεία που αφορούν τις μετρήσεις κατανάλωσης και όχι μόνο στο εν λόγω δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικές διαφορές έδειξαν οι μετρήσεις που καταγράφηκαν το έτος 2014, και αφορούν την ποσότητα του εισερχόμενου όγκου νερού στο δίκτυο σε σχέση με αυτήν της κατανάλωσης, η οποία χαρακτηρίζεται από μια στοιχειώδη σταθερότητα. Μιλώντας με αριθμούς που έχουν προέλθει από τα σχετικά στοιχεία που διαθέτει ο δήμος, φαίνεται η κατανάλωση για το πρώτο εξάμηνο του 2014 ανήλθε στα 288,75 m^3/24h ενώ το δεύτερο κυμάνθηκε στα 291,73 m3/24h .

Να σημειώσουμε, ότι πηγή προέλευσης του νερού αποτελούν μία γεώτρηση και μία πηγή οι οποίες το 2014 προσέφεραν στο δίκτυο 571.939 m^3.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 7 Υδατικό Ισοζύγιο Αιανής (2014)

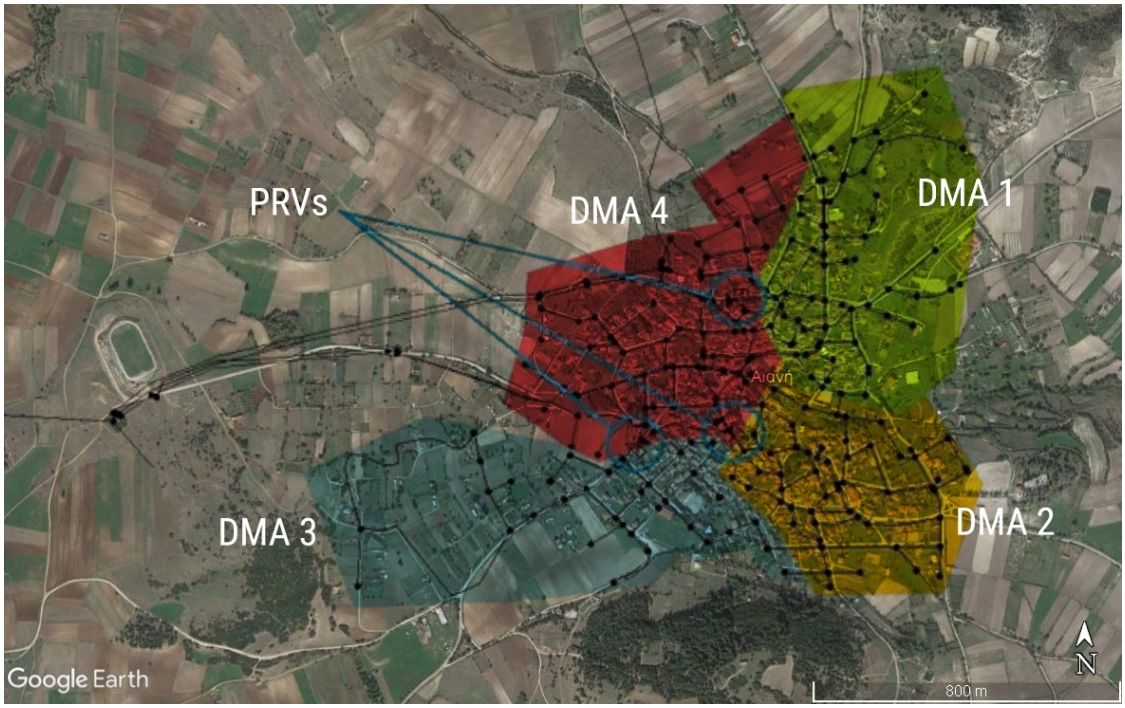
	01/14	04/14	07/14	10/14	ΣΥΝΟΛΟ
ΑΠΟ ΠΗΓΕΣ	10.684	12.763	2.656	265	26.367
ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	70.994	65.077	199.582	209.919	545.572
ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ ΝΕΡΟ (ΓΙΑ ΟΛΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)	81.678	77.84	202.238	210.184	571.939
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ - ΤΙΜΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	25.887	26.088	26.847	25.664	104.486
ΜΗ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ - ΤΙΜΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	0	0	0	0	0
ΤΙΜΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ - ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	25.887	26.088	26.847	25.664	104.486
ΜΗ ΤΙΜΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ - ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	1.634	1.557	4.045	4.204	11.439
ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	27.521	27.645	30.892	29.868	115.925
ΠΑΡΑΝΟΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ - ΚΛΟΠΕΣ (5%)	4.084	3.892	10.112	10.509	28.597
ΜΕΤΡΙΚΑ ΛΑΘΗ - ΥΠΟΔΗΛΩΣΕΙΣ	8.168	7.784	20.224	21.018	57.194
ΦΑΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	12.252	11.676	30.336	31.528	85.791
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	41.905	38.519	141.011	148.789	370.223
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΝΕΡΟΥ	54.157	50.195	191.346	180.316	456.014
ΑΝΤΑΠΟΔΟΤΙΚΟ ΝΕΡΟ (ΧΩΡΙΣ MCD)	25.887	26.000	26.847	25.664	104.486

Παράλληλα, το δίκτυο απαρτίζεται από 2 βασικές δεξαμενές, την κεντρική δεξαμενή της Αιανής χωρητικότητας 460 m^3 και την δεξαμενή στην περιοχή του προφήτη Ηλία χωρητικότητας 82 m^3 . Συνεπώς η μελέτη του δικτύου της Αιανής είναι μία από τις απλές περιπτώσεις όπου είναι γνωστά τα αριθμητικά δεδομένα της λειτουργίας του, έχουμε το υδατικό ισοζύγιο συμπληρωμένο και θα εφαρμοστεί το σενάριο χωρισμού αυτού σε υδραυλικές στεγανές υποζώνες (DMAs) ενώ στη συνέχεια και η εφαρμογή τακτικής ρύθμισης της πίεσης με τη χρήση βαλβίδων ρύθμισης της.

7.1.2. Σενάρια διαχωρισμού του δικτύου σε στεγανές υποζώνες (DMAs)

Πραγματοποιήθηκε χωρισμός στο δίκτυο με βάση σενάρια κλειστών αγωγών από διαδικασία βελτιστοποίησης. Η περίεργη μορφολογία του δικτύου δεν επέτρεπε τον διαχωρισμό σε DMAs με πολλές διαφορετικές αποδοτικές γεωμετρίες, οπότε, το δίκτυο χωρίστηκε με εμπειρικό τρόπο σε υποζώνες. Το δίκτυο χωρίστηκε σε τέσσερις DMAs οι οποίες έχουν μία ως κεντρική παροχική των άλλων τριών τελικών ζωνών. Δημιουργήθηκαν οι παρακάτω DMAs:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

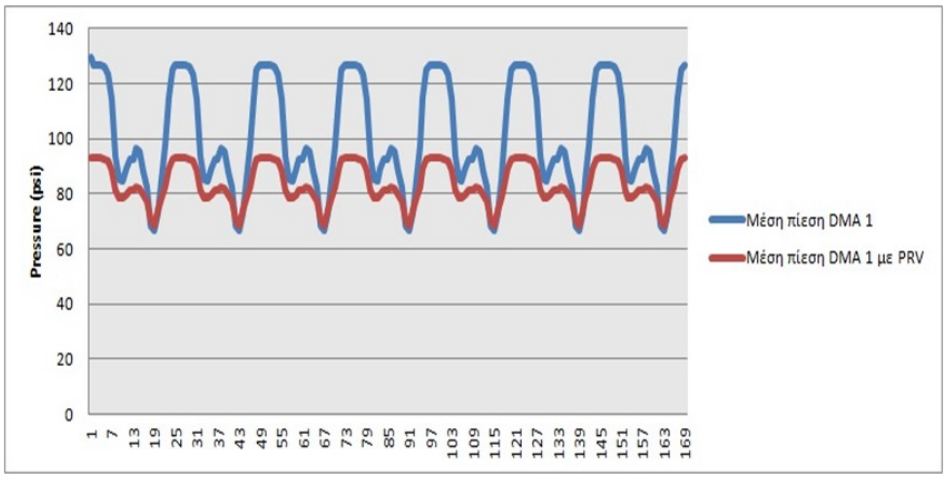


Εικόνα 14 Σενάριο χωρισμού σε 4 DMA's

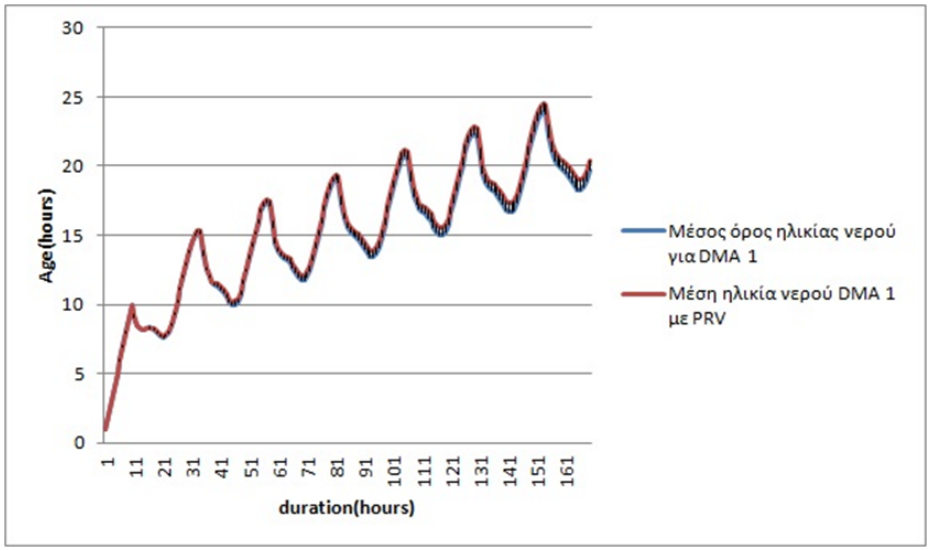
Σε κάθε DMA εξετάστηκε η ποιότητα του νερού (ηλικία και πίεση) για την περίπτωση παρουσίας βαλβίδων μείωσης πίεσης και για την περίπτωση που δεν υπάρχουν στο το δίκτυο. Τα ευρήματα που προέκυψαν για τις δυο περιπτώσεις φαίνονται στα γραφήματα που ακολουθούν. Όπου τα αποτελέσματα είναι σαφή.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Μέσος όρος ηλικίας νερού για την DMA 1

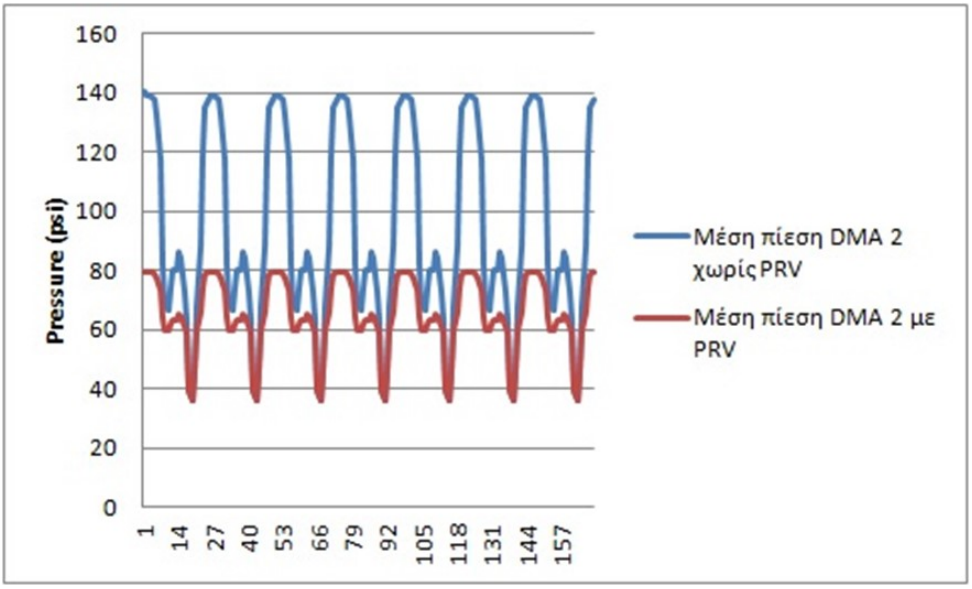


Γράφημα 1 Μέσος όρος της πίεσης για την DMA 1

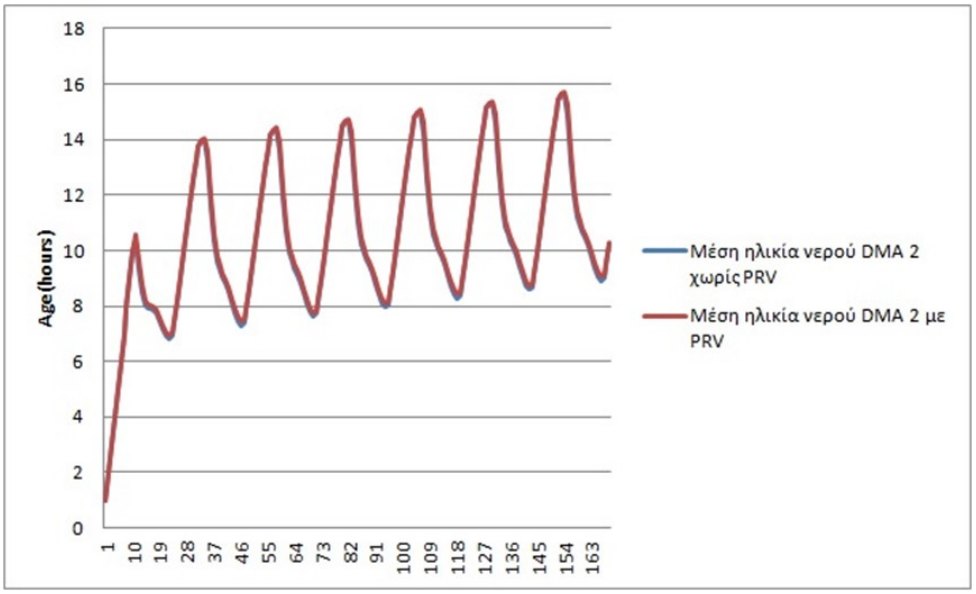


Γράφημα 2 Εξέλιξη ηλικίας (DMA1)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

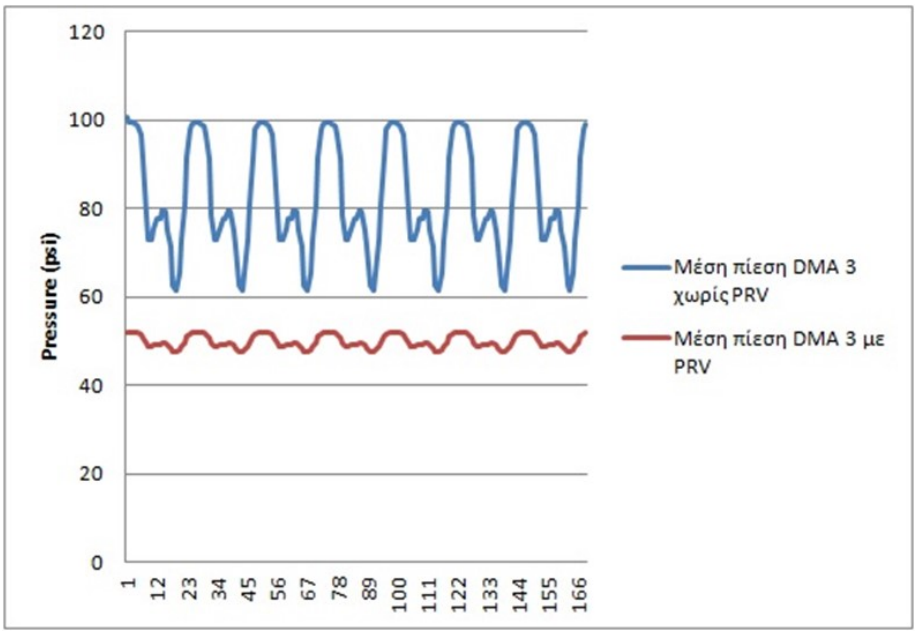


Γράφημα 3 Σύγκριση μέσης πίεσης (DMA 2)

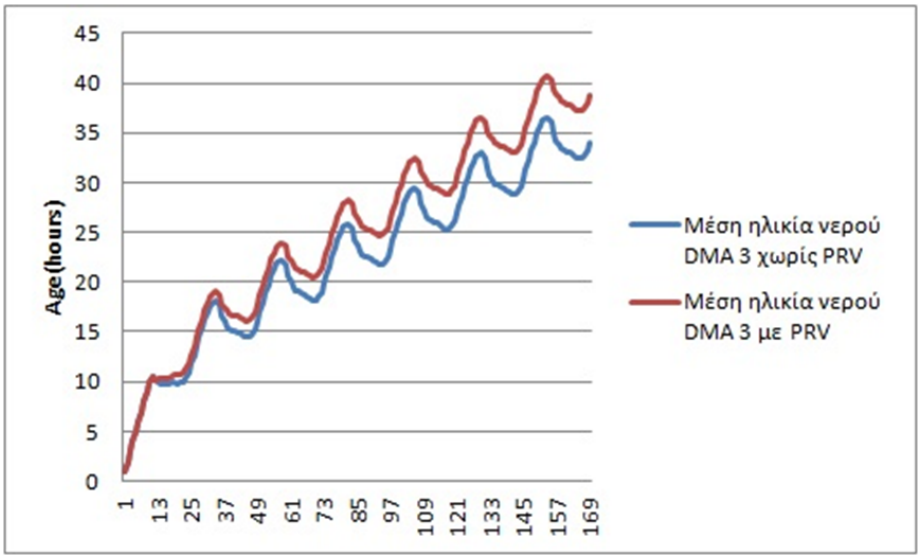


Γράφημα 4 Μέσος όρος ηλικίας νερού (DMA 2)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

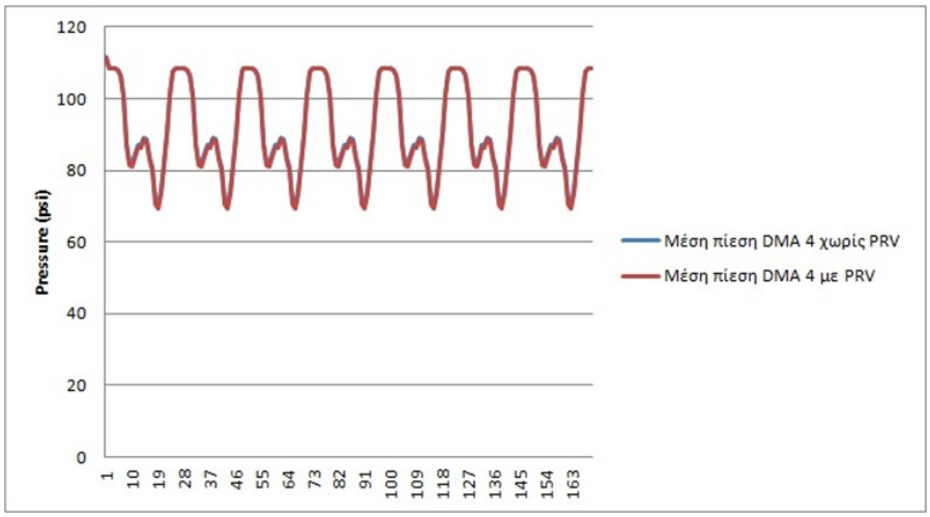


Γράφημα 5 Μέσος όρος πίεσης (DMA 3)

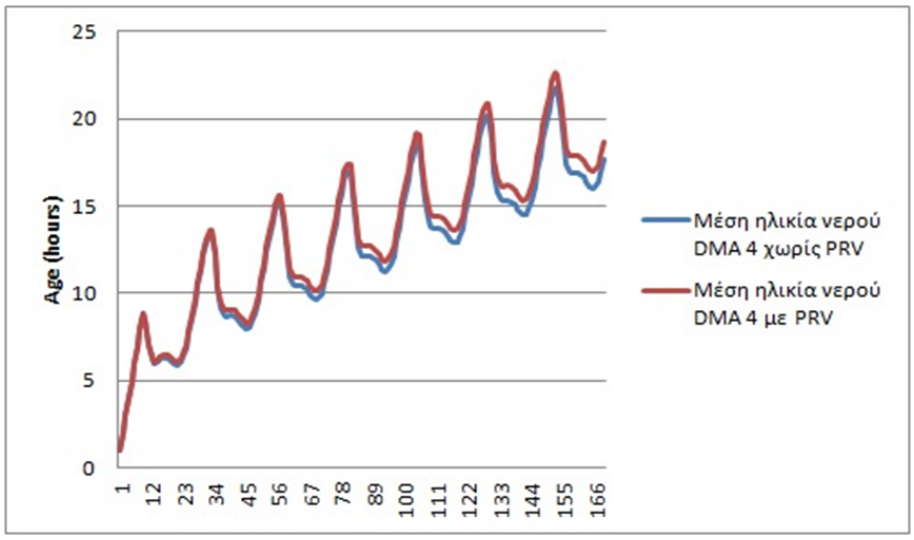


Γράφημα 6 Μέσος όρος ηλικίας νερού (DMA 3)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



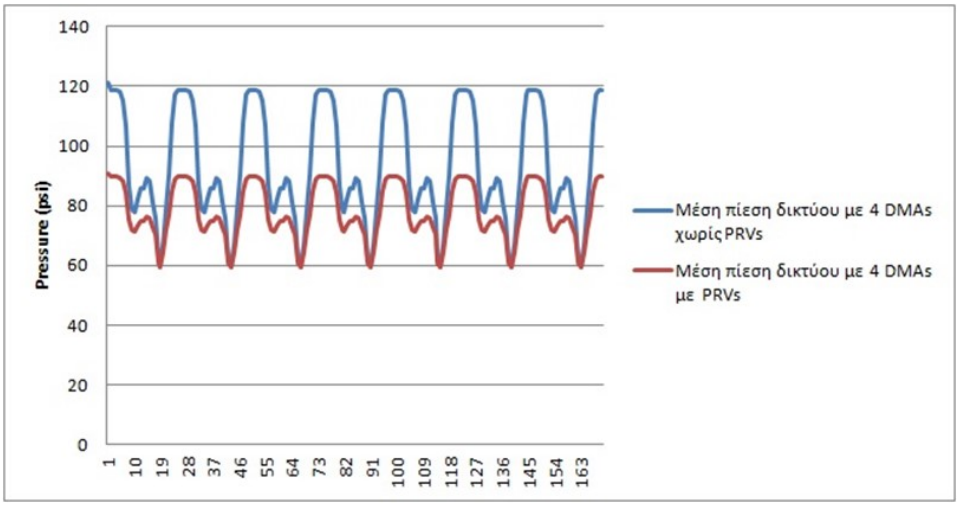
Γράφημα 7 Μέσος όρος πίεσης (DMA 4)



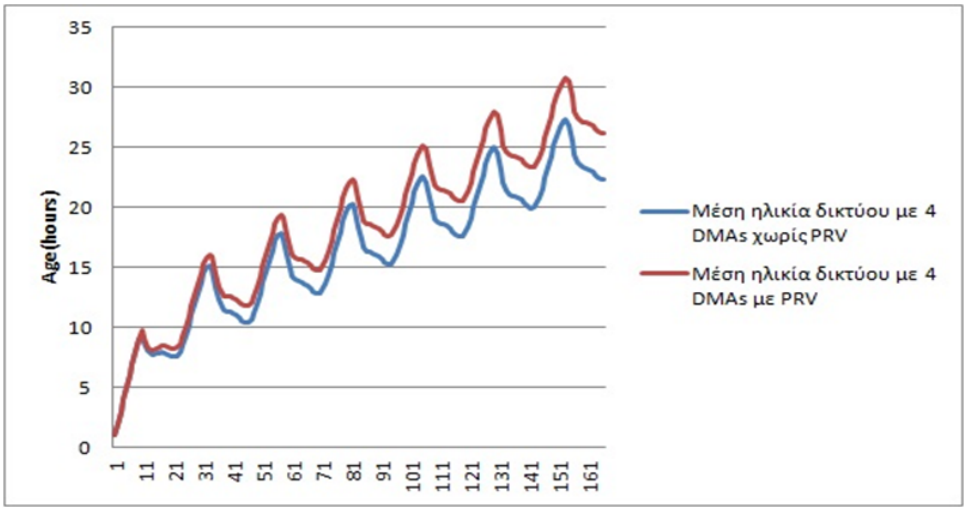
Γράφημα 8 Μέσος όρος ηλικίας νερού (DMA 4)

Όπως φαίνεται στα γραφήματα είτε επέρχεται ελάχιστη αύξηση της ηλικία είτε ακόμη παραμένει ίδια ενώ η πίεση με την ενσωμάτωση των PRVs μειώνεται σ' όλες τις DMAs. Το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τα γραφήματα που ακολουθούν και αντικατοπτρίζουν την συνολική εικόνα του δικτύου σχετικά με πίεση και την ηλικία.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 9 Μέσος όρος πίεσης του δικτύου με τέσσερις DMAs

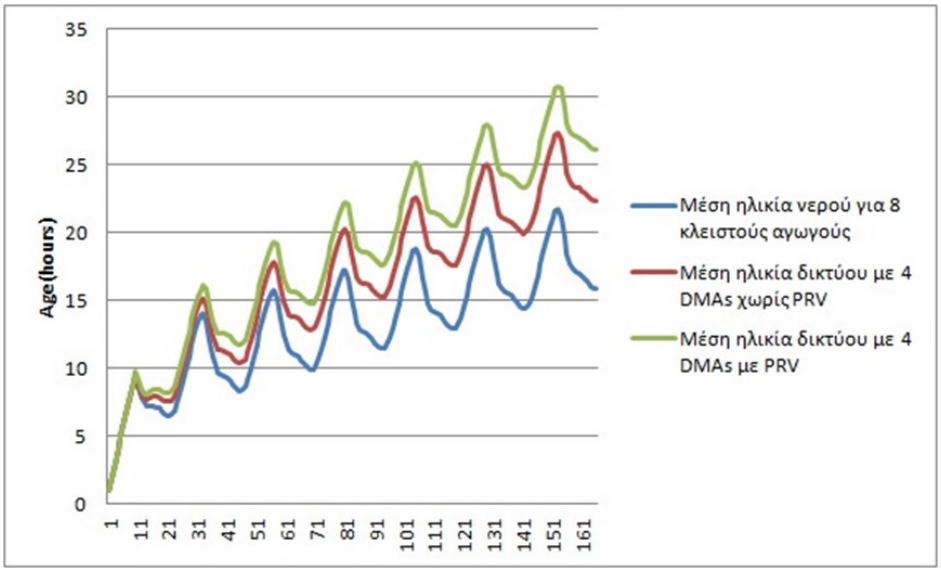


Γράφημα 10 Μέση ηλικία του δικτύου με τέσσερις DMAs

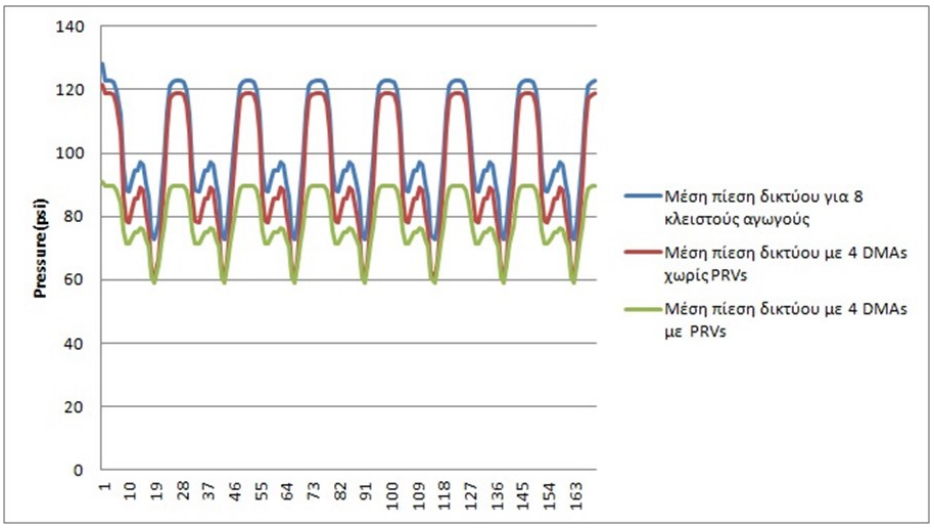
Παράλληλα με τα σενάρια χωρισμού υποζωνών και ρύθμισης της πίεσης έγινε και μία προσέγγιση χωρίς καμία άλλη ενέργεια στο δίκτυο πέραν της μείωσης της ηλικίας κατά το μέγιστο. Έτσι δημιουργήθηκε αντικειμενική συνάρτηση περιγραφής της ηλικίας η οποία επιλύθηκε με γεννητικούς αλγορίθμους και μας έδωσε σταδιακά ανά γεννεά τα αποτελέσματα που είχε το κλείσιμο ενός αγωγού στην ηλικία του δικτύου. Η συνοπτική μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε απέδειξε πως ο καλύτερος αριθμός κλεισίματος αγωγών ήταν 8 χωρίς όμως αυτοί οι κλειστοί αγωγοί να δημιουργούν σαφείς στεγανές υποζώνες. Έτσι η μνεία στη μέθοδο είναι συνοπτική και παρουσιάζεται μόνο για να φανεί η δυνατότητα ρύθμισης της ηλικίας μέσω της καλύτερης διαχείρισης της πορείας του νερού στο δίκτυο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων φαίνονται παρακάτω.

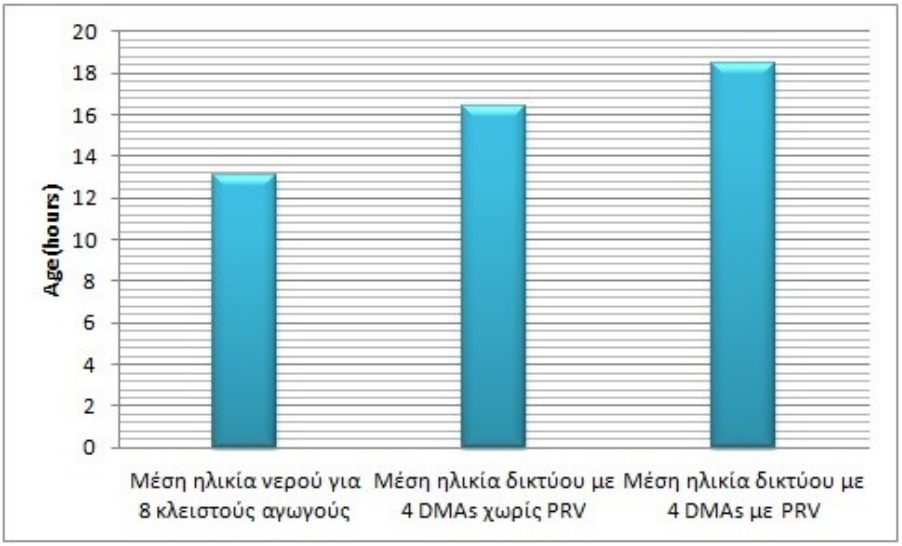


Γράφημα 11

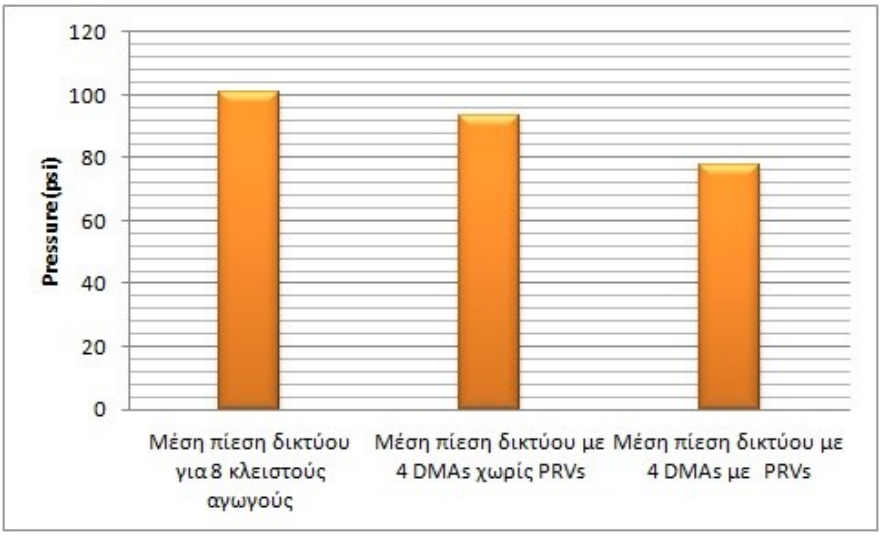


Γράφημα 12

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 13 Μέσος όρος ηλικίας του δικτύου



Γράφημα 14 Μέσος όρος της πίεσης του δικτύου

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στο σενάριο, όπου οκτώ αγωγοί είναι κλειστοί, η ηλικία του νερού παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή, ενώ στην περίπτωση των τεσσάρων υποζωνών με ταυτόχρονη παρουσία βαλβίδων μείωσης πίεσης η μέση πίεση λαμβάνει την μικρότερη τιμή. Τέλος για την περίπτωση των τεσσάρων υποζωνών χωρίς βαλβίδες μείωσης πίεσης παρουσιάζεται μια ενδιάμεση κατάσταση. Ας σημειώσουμε πως:

- Δεν έχουν όπως βλέπουμε όλες οι ζώνες τα ίδια ευχάριστα αποτελέσματα ως προς την ηλικία όπως έχουν σαφή βελτίωση στην πίεση όταν μπαίνουν οι βαλβίδες ρύθμισης ή έστω χωρίζεται το δίκτυο σε DMAs.
- Οι ζώνες που δεν επηρεάζονται από την ίδια τους τη ρύθμιση πίεσης δείχνουν πως έχουν ήδη ρυθμιστεί από τη ρύθμιση της ζώνης ανάντη τους. (πράγμα που δείχνει ότι ίσως η ρύθμιση της πρώτης να επαρκεί και για την ίδια ή τις κατάντη)
- Οι ηλικίες όσο κι αν βελτιώνονται, σε ένα δίκτυο 4 ζωνών και πολύ μικρής έκτασης όπως της Αιανής δεν έχουμε μεγάλη διαφορά στην εξέλιξη της ηλικίας αλλά υπάρχει σαφής εναλλαγή αυτής και αύξηση κατά την ρύθμιση της πίεσης. Εδώ να σημειώσουμε πως

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

μεγάλο ρόλο παίζει το ποσοστό των απωλειών του δικτύου ή το ποσοστό των εξαρτώμενων καταναλώσεων από την πίεση.

- Η μείωση της ηλικίας του δικτύου κλείνοντας κάποιους αγωγούς δεν αποτελεί απαραίτητα και παράλληλα λύση πολλαπλών οφελών. Δεν έχουμε καμία ρύθμιση της πίεσης και δεν έχουμε εύστοχη ζωνοποίηση.

7.2. Η περίπτωση της πόλης της Καρδίτσας

7.2.1. Γενικά

Η Καρδίτσα είναι πρωτεύουσα του ομώνυμής περιφερειακής ενότητας της κεντρικής Ελλάδας. Το σύστημα υδροδότησης της Καρδίτσας περιλαμβάνει τους υδάτινους πόρους, τις υποδομές μεταφοράς νερού, το εξωτερικό δίκτυο και το εσωτερικό δίκτυο διανομής. Την ευθύνη διαχείρισης του δικτύου έχει η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας (Δ.Ε.Υ.Α.Κ.).

Βασικός πυλώνας υδροδότησης της πόλης της Καρδίτσας είναι η Παπαράντζα που τροφοδοτεί την περιοχή από τον καιρό της Τουρκοκρατίας. Μέχρι να προσαρτηθεί η Θεσσαλία στο Ελληνικό Κράτος (1881), η πόλη τροφοδοτούνταν με επάρκεια όταν και η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού έφερε στην επιφάνεια τις ανεπαρκείς υποδομές που φτιάχτηκαν κατά την οθωμανική περίοδο, μεταξύ αυτών και το απαρχαιωμένο δίκτυο ύδρευσης. Προσωρινές λύσεις αποτέλεσαν τα αρκετά πηγάδια που ανοίχτηκαν όπως και διάφορες πρόχειρες κατασκευές όπως περιφερειακά αυλακια τα οποία μετέφεραν νερό αμφιβόλου ποιότητας με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι μολυσματικές ασθένειες και οι θάνατοι.

Στην Καρδίτσα, το πρώτο σύγχρονο δίκτυο ύδρευσης φτιάχνεται το 1901 ενώ η πόλη γίνεται η πρώτη στην ευρύτερη περιφέρεια της Θεσσαλίας που αποκτά ιδιόκτητο δίκτυο και δημοτικά λουτρά. Αξίζει να σημειωθεί πως η Καρδίτσα υδροδοτούνταν στην πραγματικότητα από την Παπαράντζα μέχρι και το 1972, χρονιά που ολοκληρώθηκε η τεχνίτη λίμνη «Ν. Πλαστήρα», η οποία έκτοτε αποτελεί τον αποκλειστικό υδροδότη της πόλης.

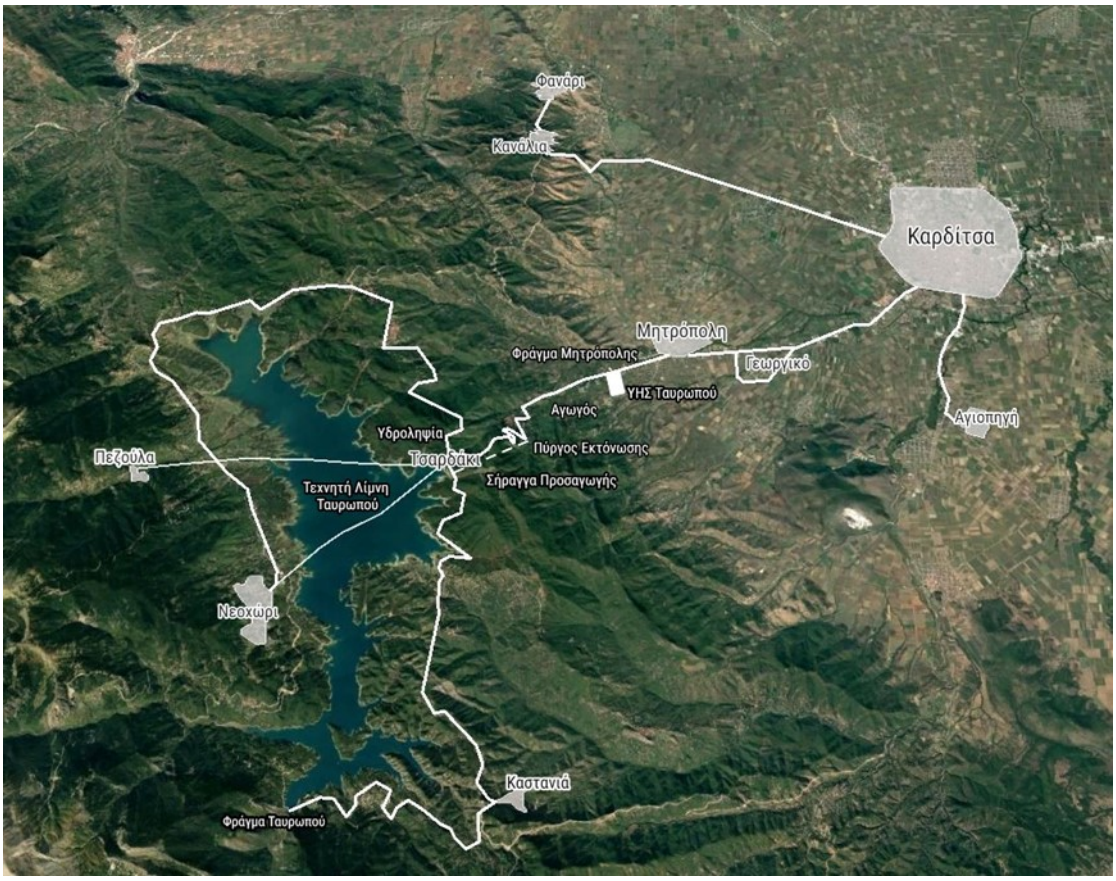
7.2.2. Η Δημοτική Επιχείρηση

Η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. ιδρύθηκε στις 11 Μαρτίου 1980, με τον νεοψηφισμένο τότε Νόμο 1069/80, με τον οποίο θεσπίστηκαν οι προϋποθέσεις για τη ίδρυση των εταιρειών αυτών. Μέχρι σήμερα, η Δ.Ε.Υ.Α.Κ έχει επιτύχει ένα σημαντικό έργο με στόχο την αναβάθμιση των δικτύων ύδρευσης, αποχέτευσης, όμβριων και λυμάτων, καθώς και των σταθμών επεξεργασίας λυμάτων. Η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων λειτουργεί από το 1989 και επέκτεινε την ικανότητα επεξεργασίας της το 2005 για να εξυπηρετήσει πλήρως τους πολίτες της πρώην πόλης Καρδίτσας και των τοπικών διαμερισμάτων Καρδιτσομαγούλας και Αρτεσιανής, όπου κατασκευάστηκε δίκτυο αποχέτευσης. Αξιοσημείωτο είναι ότι η Δ.Ε.Υ.Α. Καρδίτσας αποτέλεσε πρωτοπόρο στον συγκεκριμένο κλάδο καθώς καθιέρωσε το πρώτο σύστημα βιολογικού καθαρισμού στην Ελλάδα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η δημοτική επιχείρηση πλέον διαθέτει τόσο το απαραίτητο εργατικό δυναμικό όσο και εξοπλισμό που την κάνουν ικανή να εξυπηρετεί επαρκώς κάθε ανάγκη που προκύπτει, άμεσα και απρόσκοπτα. Είναι χαρακτηριστικό πως διαθέτει ένα σύγχρονο σύστημα Τηλεχειρισμού-Τηλελέγχου, μέσω του οποίου υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης και ελέγχου του δικτύου εξ΄ αποστάσεως και σε ελάχιστο χρόνο.

Τόσο η Καρδίτσα μαζί με τις περιοχές των Σοφάδων αλλά και τις γύρω κοινότητες υδροδοτούνται από το υφιστάμενο διυλιστήριο επεξεργασίας νερού που είναι συνδεδεμένο με τη Λίμνη Πλαστήρα, όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα. Μιλώντας με αριθμούς θα πρέπει να επισημάνουμε πως μέσω σήραγγας προσαγωγής μήκους 2625 m και διαμέτρου 3,5 m και του αγωγού υπό πίεση μήκους 2985 m και μεταβλητής διαμέτρου 3m/2,60m/ 2,40m το νερό της λίμνης από την θέση υδροληψίας μεταφέρεται στον ΥΗΣ Ταυρωπού. Η παροχευτική ικανότητα του εξωτερικού υδραγωγείου είναι της τάξης των 35,2 m^3/s, ενώ ως κατώτατη στάθμη υδροληψίας έχει οριστεί από τη ΔΕΗ τα 780 m.



Εικόνα 15 Τροφοδοτικό Σύστημα της Καρδίτσα

Στον ΥΗΣ Ταυρωπού υπάρχουν τρεις πανομοιότυπες γεννήτριες, με δύο στρόβιλους εκατέρωθεν. Η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε μονάδα είναι 43,3 MW και η παροχή καθενός ισούται με 8,8 m/s.

Το νερό που παράγεται από τον υδροηλεκτρικό σταθμό Ταυρωπού ρέει τελικά μέσω ενός τσιμεντοστρωμένου ανοιχτού καναλιού εισαγωγής σε μια τεχνητή λίμνη χωρητικότητας 600.000 κυβικών μέτρων που βρίσκεται κατάντη του σταθμού. Απέχει 600 μ. και χτίστηκε ως μετασκευασμένη λιμνούλα για να ποτίζει τον κάμπο της Καρδίτσας. Στη δεξαμενή αναμόρφωσης,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ότι ο μέσος χρόνος παραμονής του νερού είναι περίπου 10 ημέρες. Μέσα από υπερχειλίσεις ασφαλείας και τάφρους, το νερό της λίμνης υπερχειλίζει για να διαφύγει.

Νοτιοανατολικά της δεξαμενής αναρρύθμισης βρίσκεται το έργο εκροής (υπεύθυνο για την κάλυψη των υδροδοτικών αναγκών) που περιλαμβάνει δύο σίφωνες (Φ400 έκαστος), οι οποίοι είναι επιφορτισμένοι να οδηγηθεί το νερό σε φρεάτιο, το οποίο βρίσκεται σε συνέχεια της δεξαμενής σταθερής στάθμης. Μέσω αυτής ρυθμίζεται η παροχή των αναγκών άρδευσης. Μέσω αγωγού Φ700 το νερό μεταφέρεται από το φρεάτιο υδροληψίας στα διυλιστήρια. Ο αγωγός Φ700 ενώνεται με 2 αγωγούς (Φ400 ο καθένας), σε φρεάτιο εντός του χώρου των διυλιστηρίων.

Εικόνα 16 Μονάδα Επεξεργασίας Νερού (Σύνδεσμος Ύδρευσης)

Στον Σύνδεσμο Ύδρευσης και στα διυλιστήριά του πραγματοποιείται η επεξεργασία νερού. Η συγκεκριμένη διαδικασία βασίζεται στα ακόλουθα στάδια:

1. Η Προχλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο, που εφαρμόζεται στον αγωγό εισόδου των διυλιστηρίων (Στόχος: 0,4mg/l υπολειμματικού χλωρίου)
2. Προσθήκη χημικών σε 4 δεξαμενές ταχείας ανάδευσης, κυλινδρικής διατομής. Ως στοιχείο κροκίδωσης χρησιμοποιείται το θειικό αργίλιο Al2(SO4)3. $18H_2O$
3. Συσσωμάτωση - Κροκίδωση σε τέσσερις δεξαμενές τριών θαλάμων βραδείας ανάδευσης. (Σημείωση: Το κροκιδωτικό στοιχείο προστίθεται μόνο αν το νερό κατά την είσοδό του είναι ιδιαιτέρως θολό.
4. Καθίζηση σε τέσσερις δεξαμενές δύο θαλάμων πού έχουν συνολική χωρητικότητα 6400m^3 και τροφοδοτούν την νέα και την παλιά μονάδα φίλτρων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Διύλιση, η οποία υλοποιείται σε 2 ξεχωριστές μονάδες:

1. Παλιά μονάδα φίλτρων που περιλαμβάνει δέκα δωμάτια διύλισης συμμετρικά διατεταγμένα σε δύο σειρές των πέντε με ανεξάρτητη τροφοδότηση η κάθε σειρά. Τα δωμάτια έχουν διαστάσεις 4x6m.
2. Νέα μονάδα φίλτρων (κατασκευάστηκε το 1992), η οποία περιλαμβάνει οχτώ δωμάτια διύλισης, διαστάσεων 7,40x3,53m

Περιγραφή δωματίων

Στο δάπεδο βρίσκουμε υλικό από χαλίκια πάχους σαράντα εκατοστών και από πάνω τους βρίσκεται τοποθετημένο φίλτρο άμμου πάχους ογδόντα εκατοστών. Το ύψος της στήλης νερού στην περίπτωση αυτή φτάνει το ένα μέτρο και είκοσι εκαστοστά.

- Η τελική απολύμανση πραγματοποιείται με υποχλωριώδες νάτριο. Πραγματοποιείται στο φρεάτιο συλλογής του νερού, αφού πραγματοποιηθεί η διύλιση πριν το νερό φτάσει στον τελικό καταναλωτή.
  (Στόχος: 0,5-0,55mg/l υπολειμματικού χλωρίου)
- Συνολική ποσότητα (για προχλωρίωση και τελική απολύμανση) υποχλωριώδους νατρίου (συγκέντρωσης περίπου 14%κ.ό. και πυκνότητας 1,2g/cm3): 550kg / ημέρα.

Να σημειωθεί πως κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, η συνολική ποσότητα του NaOCl που θα καταναλωθεί για την επίτευξη του στόχου των 0,5-0,55mg/l υπολειμματικού χλωρίου στο νερό εξόδου αυξάνεται σε 1000-1200kg/ημέρα για περίπου 60.000m^3 νερού.

Σε ό,τι αφορά στον τρόπο λειτουργίας, αξίζει να σημειωθεί πως ακόμη και σε περιπτώσεις χαμηλής θολότητας, οφείλεται να εφαρμοστεί κροκιδωτική ουσία, η εφαρμογή του κροκιδωτικού υλικού στη μονάδα διύλισης, μιας και οι κολλοειδείς ενώσεις έχουν τη δυνατότητα να διαπεράσουν τους πόρους της άμμου και να διαφύγουν προς την εκροή. Με το κροκιδωτικό αποφεύγεται η παρουσία των κολλοειδών αυτών ενώσεων στα φίλτρα.

Η ημερήσια παροχή νερού στο διυλιστήριο είναι 55.000 κυβικά μέτρα (από τον Δεκέμβριο του 2005) και μπορεί να φτάσει το μέγιστο τα 60.000 κυβικά μέτρα (τους καλοκαιρινούς μήνες). Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 75/440/EEC, το σύστημα επεξεργασίας νερού επαρκεί για επεξεργασία νερού κατηγορίας ποιότητας Α2. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ποιότητα της παροχής νερού του διυλιστηρίου καθορίζεται από τον Σύνδεσμο βάσει εργαστηριακών αναλύσεων που έγιναν στο εργαστήριο της εγκατάστασης καθαρισμού νερού και αντιστοιχεί στην Κατηγορία Α1.

7.2.3. Μεταφορά και διανομή του νερού στο δίκτυο

Το δίκτυο της εταιρίας περιλαμβάνει 2781 αγωγούς συνολικού μήκους 205,57 χιλιομέτρων.

Η πλειοψηφία των αγωγών είναι κατασκευασμένοι από χυτοσίδηρο και αμιαντοτσιμέντο. Συγκεκριμένα το μήκος των αγωγών από Ασβέστη με τσιμέντο είναι ίσο με 174,73km και των αγωγών αμιαντοτσιμέντου ίσο με 30,84km (Βερίλλη 2018).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Οι διάμετροι των αγωγών, σύμφωνα με τα όσα περιγράφονται στους γενικούς κανονισμούς χάραξης, αν και θα έπρεπε να είναι 90 mm, αυτοί έχουν διάμετρο μέχρι 70mm. Η αναφορά στο μέγεθος της διαμέτρου γίνεται καθώς ως στοιχείο διαδραματίζει ρόλο λειτουργικό και οικονομικό. Όπως αναγράφεται άλλωστε στην σχετική βιβλιογραφία η μικρή διάμετρος επιδρά αρνητικά στην λειτουργία του δικτύου, αφού έχει αποδειχτεί πως αυξάνει το ρυθμό εμφάνισης αστοχιών. Ειδικότερα, ο ρυθμός αστοχιών ενός αγωγού αυξάνεται, όταν η διάμετρος του αγωγού μειώνεται (US Environmental Protection Agency, 2006). Μεγάλος αριθμός μελετών αποδεικνύει πως ο ρυθμός αλλά και το μέγεθος των αστοχιών διαφοροποιείται ανά περίπτωση.

7.2.4. Προβλήματα του υφιστάμενου δικτύου

Τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται στο δίκτυο είναι:

- Η μεγάλη πτώση της πιεζομετρικής γραμμής στα διαστήματα που η ζήτηση μεγιστοποιείται
- Οι κάτοικοι των απομακρυσμένων περιοχών πολύ συχνά έρχονται αντιμέτωποι με ανεπάρκεια νερού ή ακόμα και διακοπή της παροχής
- Το παλιό δίκτυο σε ορισμένα σημεία είναι τόσο προβληματικό που δεν μπορεί να υδροδοτήσει καν σημεία του κέντρου της Καρδίτσας
- Μεγάλη συχνότητα ύπαρξης βλαβών που έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό διαρροών. Αξίζει να αναφερθεί πως εξαιτίας αυτού του γεγονότος, η ποσότητα που διατίθεται ξεπερνά κατά 35% την τιμολογούμενη, δηλαδή αυτήν που φτάνει στον καταναλωτή.

7.2.5. Διαχωρισμός του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας σε DMAs

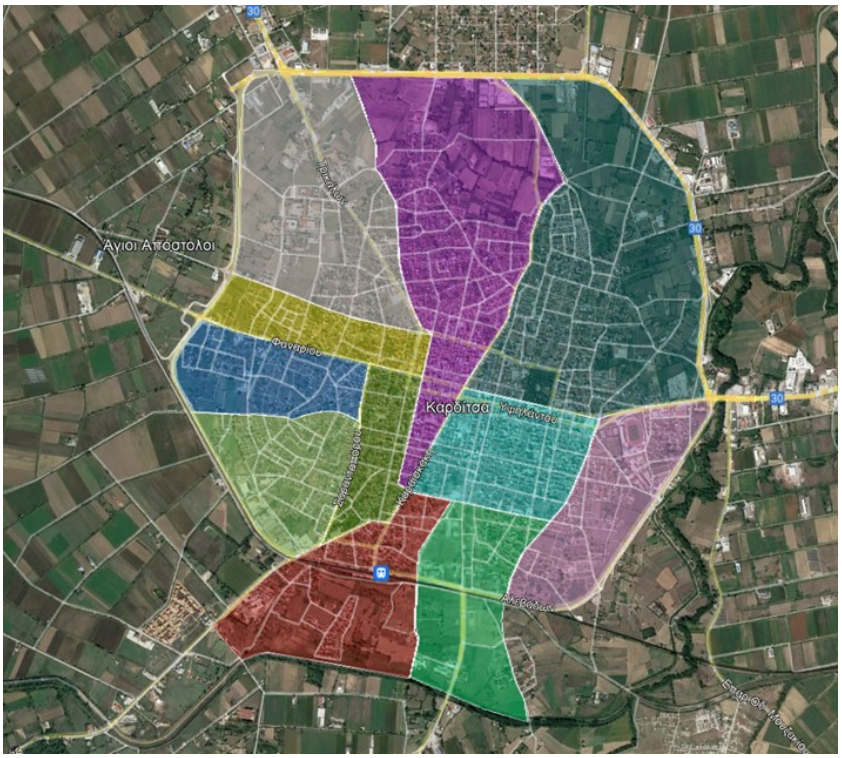
Σε κάθε δίκτυο είναι εφικτός ο διαχωρισμός σε στεγανές υποζώνες. Έχει εκτιμηθεί ότι το μέσο μέγεθος μιας τέτοιας ζώνης κυμαίνεται μεταξύ 1000 και 3000 συνδέσεων. Το κόστος της εφαρμογής μιας στεγανής υποζώνης επηρεάζεται από το μέγεθός της, καθώς όσο μικρότερη είναι, τόσο πιο ακριβή είναι η εφαρμογή της, όμως ταυτόχρονα απορρέουν περισσότερα πλεονεκτήματα, όπως ο ταχύτερος εντοπισμός διαρροών κ.α. Ο διαχωρισμός σε υποζώνες εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως, οι μεγάλες καταναλώσεις (νοσοκομεία κτλ), τα φυσικά όρια (δρόμοι, ποταμοί, σιδηροδρομικές γραμμές κτλ) και τα περιγράμματα επιπέδου εδάφους.

Για τον σχεδιασμό τους τα βασικότερα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη είναι:

- Οι αγωγοί διανομής μεγάλης ονομαστικής διαμέτρου, καθώς αποτελούν κύρια στοιχεία του δικτύου και επιβάλλεται να είναι συνεχώς σε λειτουργία.
- Η κατανομή της πίεσης στους κόμβους – κάθε DMA αποτελείται από κόμβους που αρχικώς είχαν σχεδόν ίδια διακύμανση της πίεσης
- Η κατανομή της ηλικίας του νερού – σε κάθε DMA οι κόμβοι παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση της ηλικίας
- Η κατανομή του πληθυσμού από τα υδρόμετρα

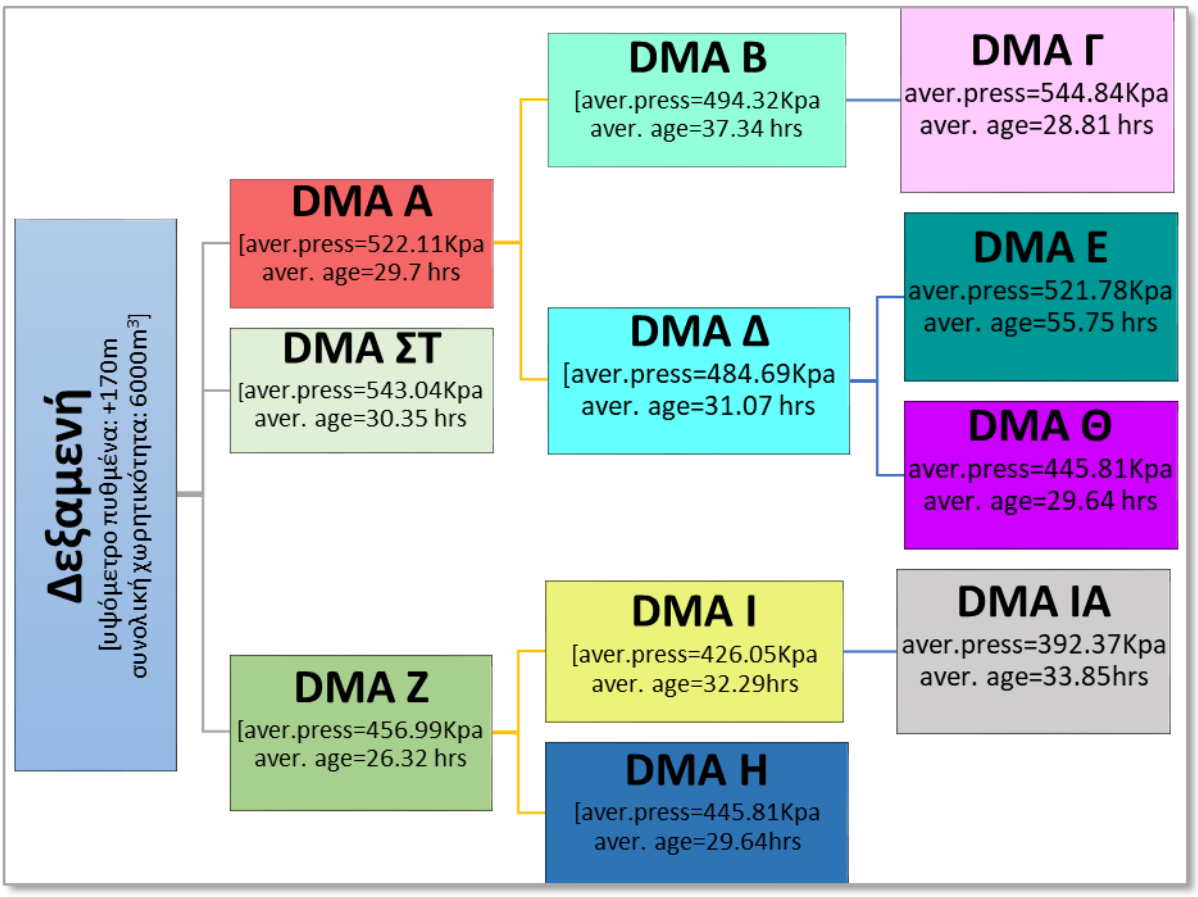
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Κάθε ζώνη πρέπει να τροφοδοτείται από μία παροχή και να είναι εφικτή η υδραυλική της απομόνωση από το υπόλοιπο δίκτυο. Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια πραγματοποιήθηκε ο χωρισμός του δικτύου σε 11 DMAs, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (17). Πάνω σε αυτή τη ζωνοποίηση και την υδραυλική προσομοίωση του παραπάνω δικτύου, βασίστηκαν τα σενάρια μελέτης της ηλικίας και της πίεσης.



Εικόνα 17 Ζωνοποίηση του δικτύου σε 11 DMAs

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



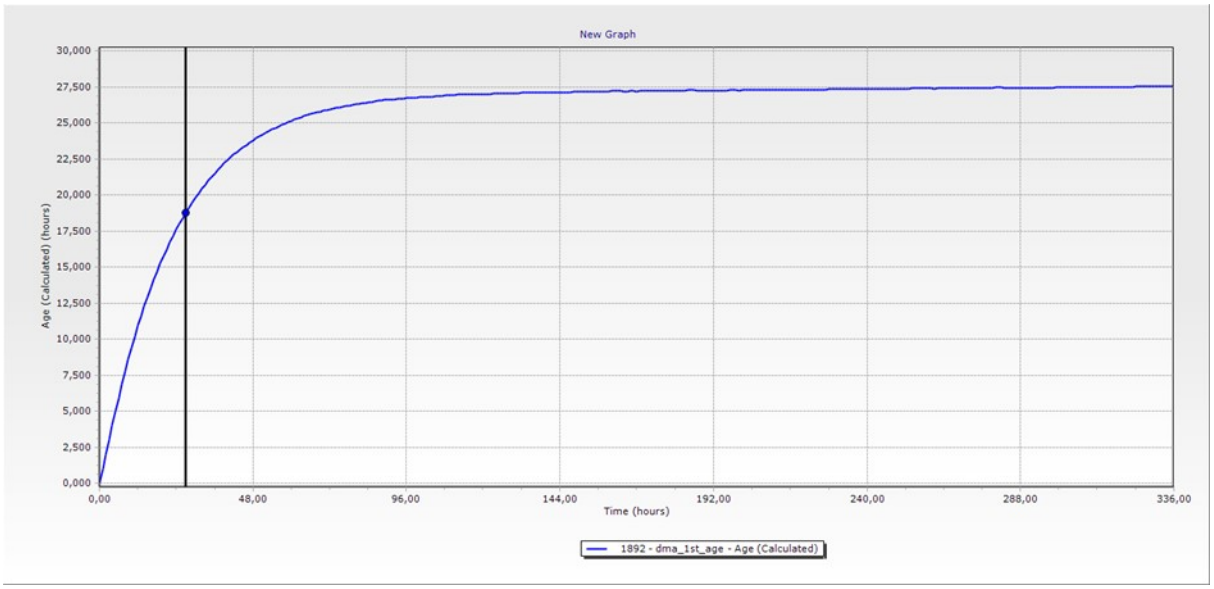
Γράφημα 15 Το δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας

7.2.5.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1ο – ΝΟ DMAs

7.2.5.1.1 Water Age Analysis

Το πρώτο σενάριο που επιλύθηκε με το λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης είναι η παρακολούθηση της ηλικίας. Έχοντας τη δυνατότητα σε ένα μοντελοποιημένο δίκτυο αντίστοιχης έκτασης μίας μεσαίας πρωτεύουσας νομού, να προσομοιωθεί η κατάσταση του νερού ηλικιακά για πεπερασμένα χρονικά διαστήματα, στον παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε έρευνα με χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων (336 hours). Το τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα απαίτησε μεγάλα υπολογιστικά πακέτα δεδομένων που αν και φόρτωσαν την διερεύνηση με ώρες αναμονής απόκρισης των τερματικών, είχαμε την ασφάλεια της σίγουρης απόκρισης κάθε ζώνης μέσα στο χρόνο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 16 Παρουσίαση ηλικίας νερού σε κόμβο μετά από 336 ώρες.

Ενδεικτικά στο δίκτυο παρατηρείται ότι ο ρυθμός αύξησης της ηλικίας του νερού ακολουθεί εκθετική κατανομή, καθώς οι τιμές του αυξάνονται με πολύ υψηλό ρυθμό τις πρώτες ώρες, ενώ στην συνέχεια οι τιμές σχεδόν σταθεροποιούνται και ο ρυθμός αύξησης είναι πάρα πολύ μικρός, σχεδόν μηδενικός. Το παραπάνω συμπέρασμα προκύπτει για όλους τους κόμβους του δικτύου. Φαίνεται πως έχουμε όμοια συμπεριφορά ως προς την ηλικία μέσα στο δίκτυο που βασίζεται κυρίως στην απλότητα της δομής του. Ως πόλη με πολύ λίγα διαθέσιμα ψηφιακά δεδομένα, το ψηφιακό δίδυμο που δημιουργήθηκε για να προσομοιωθεί είχε αρκετές γενικευμένες προσεγγίσεις που αφορούν οικιστικές ζώνες αλλά και τα επίπεδα απωλειών – χρήσεων. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η μοναδική τροφοδοτική γραμμή και το ομαλό ανάγλυφο.

7.2.5.1.2 Η ηλικία και η πίεση των κρίσιμων κόμβων

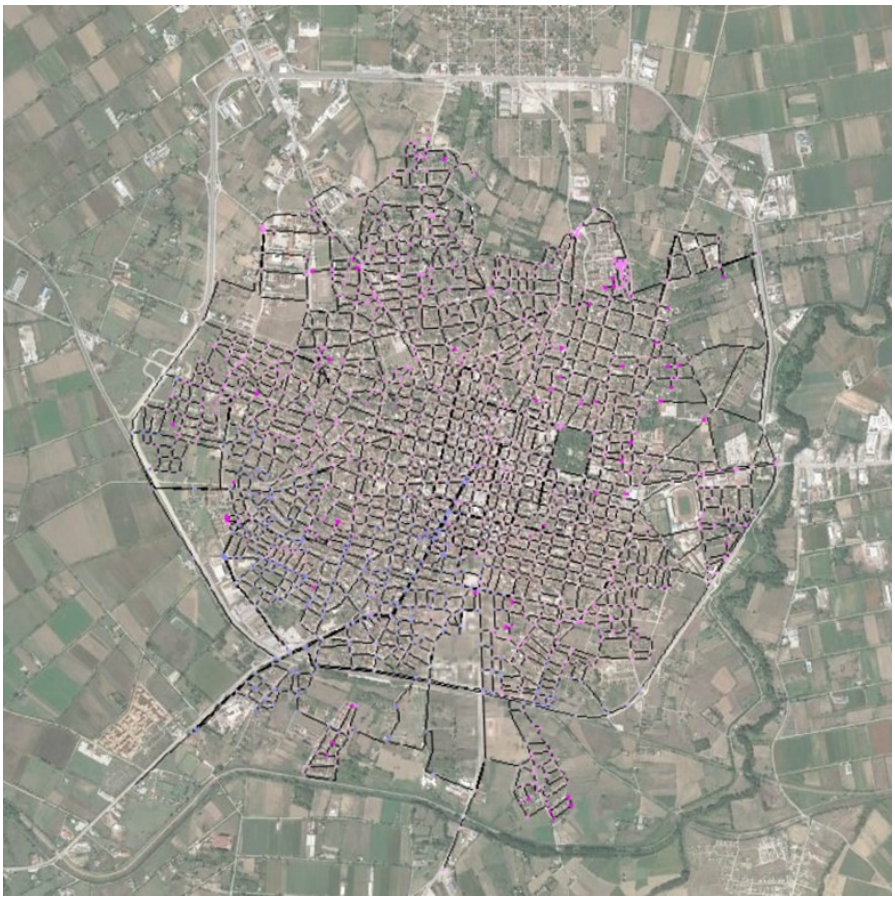
Κάθε παρατηρητής δικτύου πρέπει να έχει σημεία ελέγχου που τον κατευθύνουν ως προς τις κρίσιμες συμπεριφορές του και του διεγείρουν τα αντανακλαστικά έγκαιρα. Αυτά σε ένα υδραυλικό μοντέλο είναι οι κρίσιμοι κόμβοι. Έως σήμερα εκτενής αναφορά γίνεται στον κρίσιμο κόμβο της πίεσης που είναι είτε ο κόμβος με τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή πίεσης κάθε στιγμή της ανάλυσης. Αντίστοιχα εδώ θα παρατηρούμε και τους κρίσιμους κόμβους ηλικίας ώστε να δείξουμε πως η ηλικία έχει μία εξαρτώμενη οδό από αυτή της πίεσης η οποία όμως είναι ξεχωριστή και διακριτή!

Για κάθε DMA λοιπόν, πραγματοποιήθηκε ανάλυση 336 ωρών και εντοπίστηκε ο κόμβος με τη μέγιστη ηλικία νερού. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι κρίσιμοι κόμβοι (ονομασία Label από το περιβάλλον του προγράμματος) για το πρώτο σενάριο χωρίς DMAs. Επίσης παρουσιάζονται δεδομένα που αφορούν την πίεσή τους καθώς και την μέση τιμή της πίεσης όλων κόμβων της υποζώνης. Στην συνέχεια απεικονίζονται οι κρίσιμοι κόμβοι με βάση την ηλικία και την πίεση στην αρχική κατάσταση του δικτύου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- κρίσιμοι ηλικιακά κόμβοι

Στην παρακάτω εικόνα προβάλλονται οι ηλικίες των κόμβων για περίοδο ανάλυσης 24 ωρών. Οι ηλικίες τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή κυμαίνονται στις 17 και 18 ώρες.

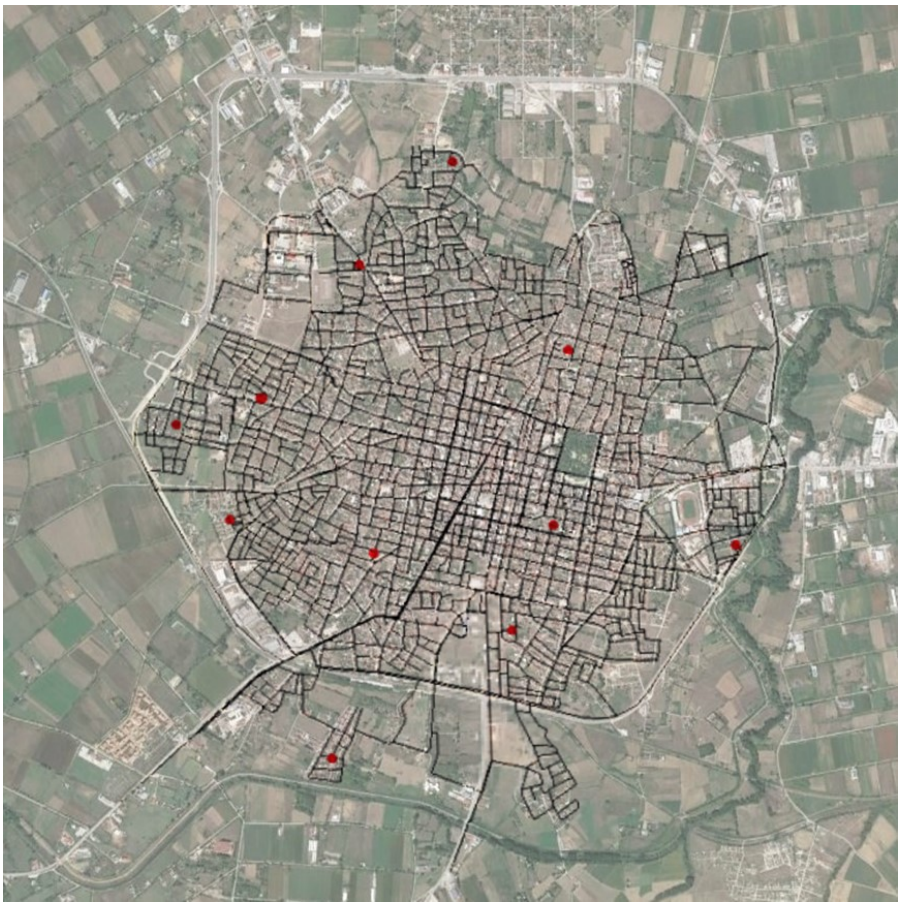


Εικόνα 18 Ηλικιακή απεικόνιση των κόμβων του δικτύου σε περίοδο 24 ωρών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 8 Ηλικία των κρίσιμων κόμβων ανά DMA για το πρώτο σενάριο

NO DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Ηλικία(hrs)			Πίεση (kPa)		
		average per dma	average κόμβου	Max κρίσιμου	average per dma	average κόμβου	min κρίσιμου
A	2335	29,71	168,00	336,00	529,71	511,83	442,00
B	2252	38,74	168,00	336,00	511,56	524,66	455,00
Γ	1786	28,47	168,00	336,00	536,13	539,54	471,00
Δ	81	29,90	168,00	336,00	526,50	525,70	457,00
E	2106	47,72	168,00	336,00	559,22	557,83	489,00
ΣΤ	2044	30,90	168,00	336,00	547,73	552,45	483,00
Z	2269	26,30	33,79	35,75	536,49	534,87	460,00
H	136	28,17	168,00	336,00	560,27	558,58	490,00
Θ	2199	30,86	168,00	336,00	554,00	574,80	507,00
I	129	29,81	168,00	336,00	565,26	566,40	498,00
IA	J-834	33,97	168,00	336,00	574,26	577,17	510,00



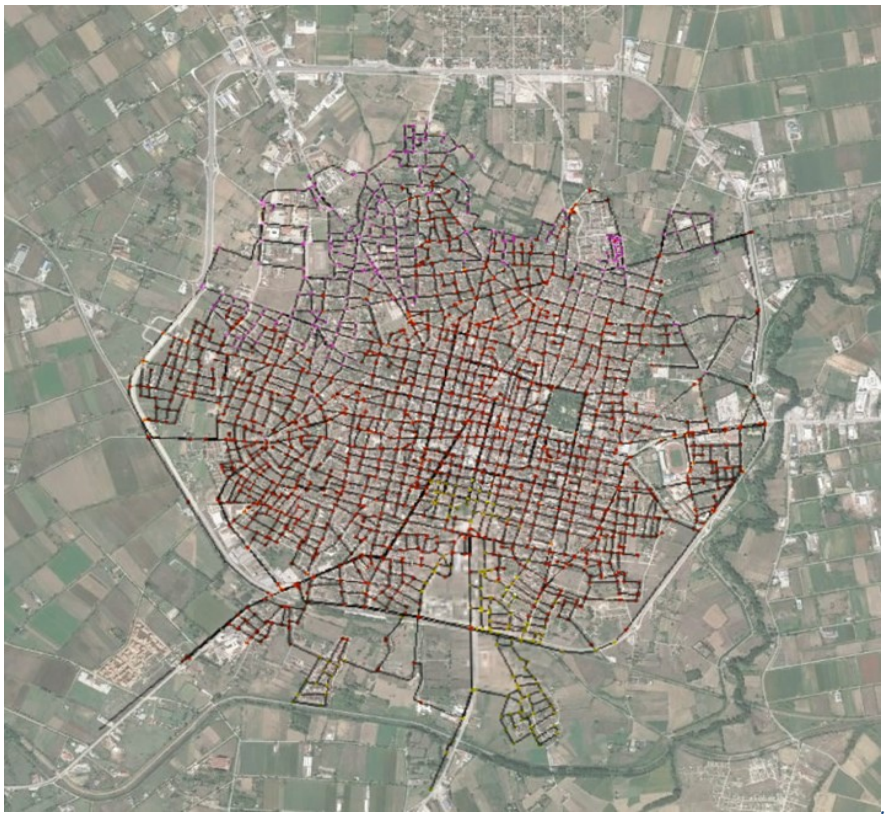
Εικόνα 19 Ηλικιακή απεικόνιση των κρίσιμων κόμβων του δικτύου για το 1ο σενάριο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Η πίεση των κρίσιμων κόμβων του δικτύου

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι πιέσεις των κόμβων του δικτύου. Στην εικόνα που ακολουθεί, απεικονίζεται η χρωματική διαβάθμιση των κόμβων, με βάση την τιμή της πίεσης που αναπτύσσεται σ' αυτούς, κατά την αρχική φάση της ανάλυσης του πρώτου σεναρίου. Στην αρχική φάση οι πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους κυμαίνονται μεταξύ 417 και 522kPa. Είναι προφανές ότι υπάρχουν περιθώρια ελέγχου της πίεσης, από την στιγμή που οι τιμές στους κόμβους απέχουν σημαντικά από την τιμή 200kPa που θεωρείται η χαμηλότερη επιθυμητή τιμή που μπορούν να λάβουν.

Επίσης παρατηρείται ότι οι κρίσιμοι κόμβοι της ηλικίας δεν έχουν καμία σχέση με αυτούς της πίεσης.



Color	Value (kPa)
	<= 200
	<= 250
	<= 300
	<= 350
	<= 400
	<= 450
	<= 500
	<= 550
	<= 600
	<= 650
	<= 700
	<= 750

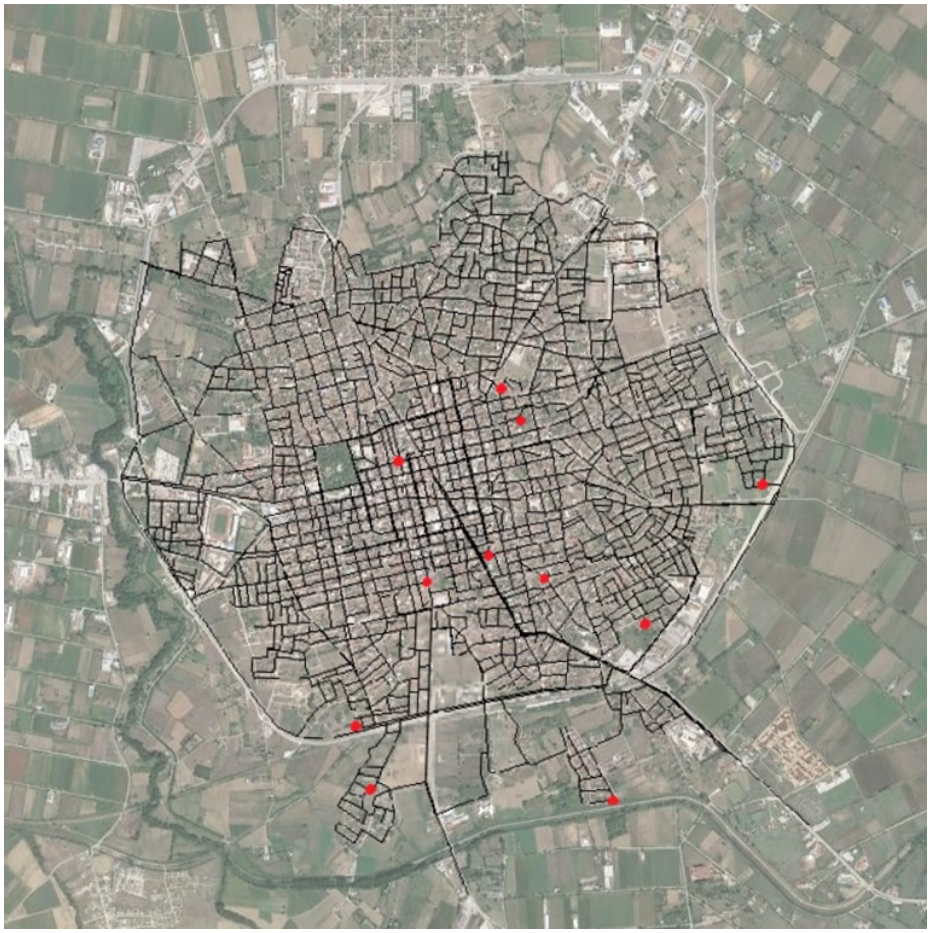
Εικόνα 20

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 9 Ηλικία των κρίσιμων κόμβων ανά DMA για το 1ο σενάριο

NO DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Πίεση (kpa)			Ηλικία (hours)		
		average per dma	average κόμβου	min κρίσιμου	average per dma	average κόμβου	max κρίσιμου
Α	294	529,71	503,67	528,00	29,70	27,58	29,97
Β	1757	511,56	486,70	511,00	38,74	27,30	29,70
Γ	317	536,13	511,37	441,00	28,47	25,61	27,90
Δ	1414	526,52	486,00	417,00	29,90	25,72	27,93
Ε	1319	559,20	526,90	458,00	47,72	27,06	29,39
ΣΤ	143	547,73	532,20	462,00	30,90	25,50	27,70
Ζ	829	536,49	526,16	456,00	26,30	25,56	27,70
Η	1259	560,27	547,83	479,00	28,17	26,43	28,70
Θ	2233	554,28	522,08	453,00	30,86	25,84	28,13
Ι	442	565,25	537,00	471,00	29,81	27,41	29,78
ΙΑ	547	574,26	551,00	483,00	33,97	27,68	30,07

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 21 Απεικόνιση της πίεσης των κρίσιμων κόμβων για το σενάριο 1ο

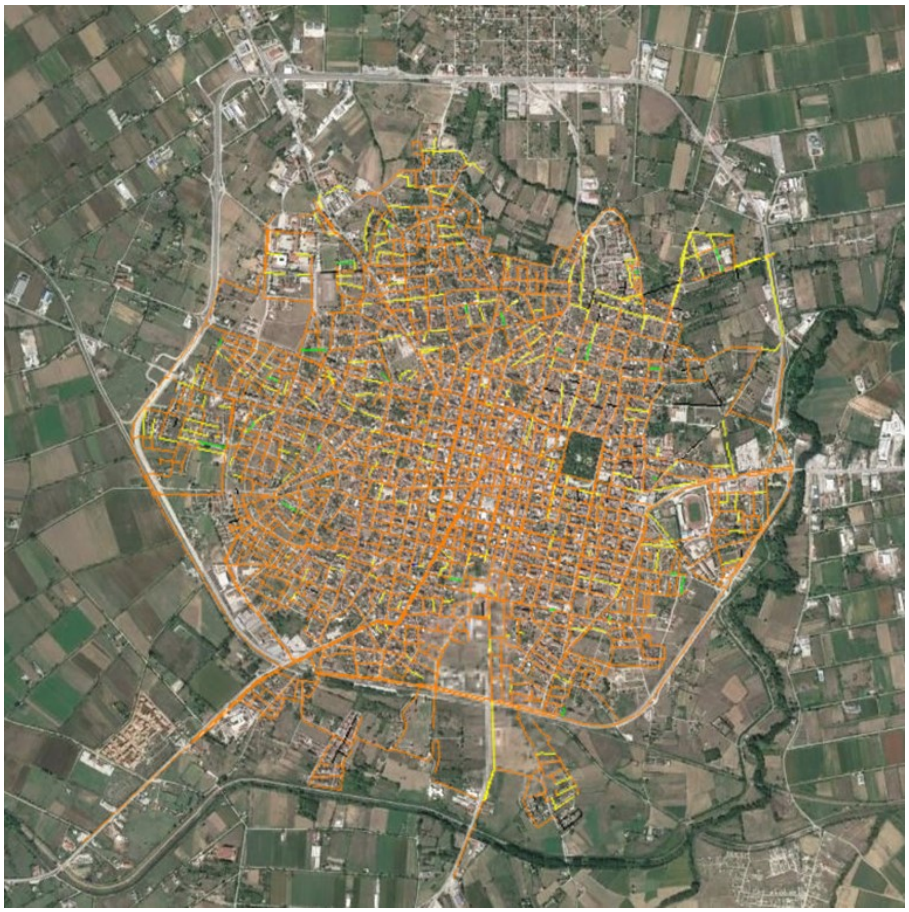
- χρόνος παραμονής νερού

Μία ενδιαφέρουσα χαρακτηριστική τιμή μου προσεγγίστηκε στο παρόν δίκτυο λόγω της ομαλότητας της συμπεριφοράς είναι ο χρόνος παραμονής νερού στους αγωγούς. Είναι τυπικά ο χρόνος που κάνει το νερό να διανύσει έναν αγωγό. Για να κατανοηθεί η αξία αυτού του δείκτη πρέπει να υπάρχει πλήρης σαφήνεια στον υπολογισμό του που είναι απλός. Είναι το μήκος διά την ταχύτητα του νερού, όπως η λειτουργία του δικτύου εναλλάσσεται στο χρόνο, έτσι και ο χρόνος που απαιτείται για να διασχίσει το νερό τον κάθε αγωγό αλλάζει. Άρα ενδιαφέρον έχει να δούμε και να παρακολουθήσουμε τους αγωγούς που το νερό τείνει να αργοπορεί πολλές φορές μέσα στη μέρα και να ενηλικιώνεται μέσα σε αυτούς περισσότερο από το σύνολο.

Στο πρώτο σενάριο χωρίς τις DMAs, αξιοποιώντας την δυνατότητα χρωματικής απεικόνισης οντοτήτων του δικτύου με βάση τις τιμές μιας παραμέτρου (εντολή color coding του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης) παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος παραμονής νερού στην πλειονότητα των αγωγών ήταν μικρότερος της μιας ώρας (πορτοκαλί χρώμα στην εικόνα που ακολουθεί). Σε αρκετούς ο χρόνος παραμονής του νερού κυμάνθηκε μεταξύ μιας ώρας και τριών ωρών (κίτρινο χρώμα στην εικόνα που ακολουθεί). Βέβαια οι περισσότεροι από αυτούς του αγωγούς βρίσκονται μακριά από την δεξαμενή και στην άκρη της πόλης, όπου οι καταναλώσεις στις περιοχές αυτές δεν είναι τόσο μεγάλες (ζώνες Θ, Ε και ΙΑ).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

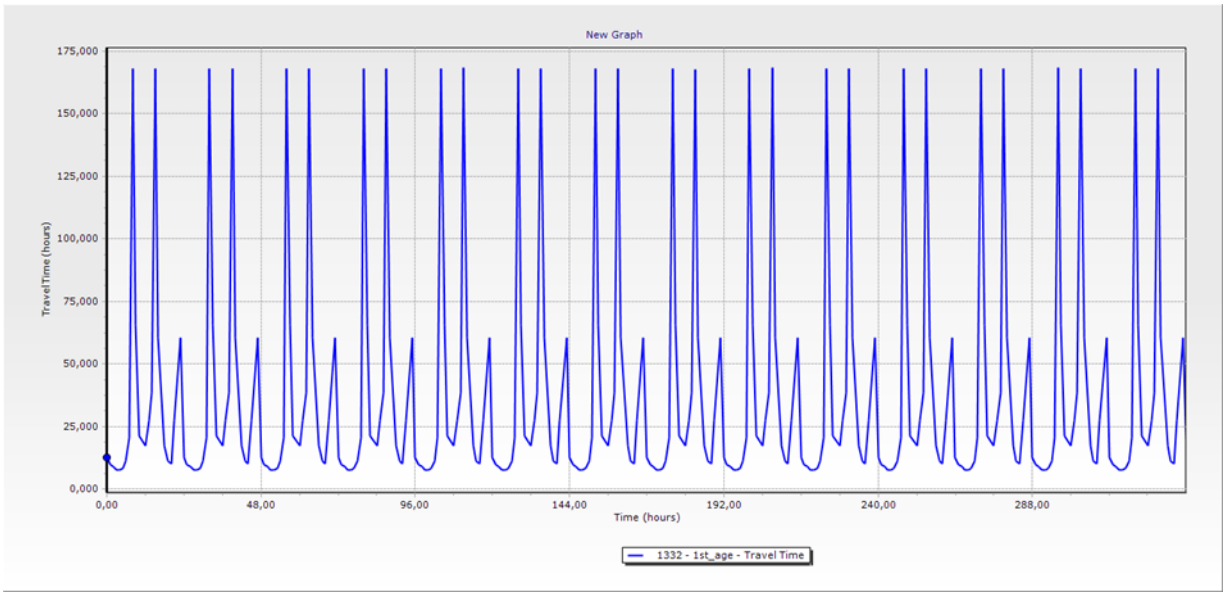
Σε πολύ μικρό ποσοστό των αγωγών ο χρόνος παραμονής του νερού είναι φανερά μεγαλύτερος σε σχέση με τους άλλους και το εύρος της διακύμανσής σημαντικό σε βάθος χρόνου. Δύο τέτοιοι χαρακτηριστικοί αγωγοί είναι ο 1332 και ο 2061, οι οποίοι παρουσιάζονται στην συνέχεια.



Εικόνα 22 Ο χρόνος παραμονής του νερού για το σενάριο 1ο

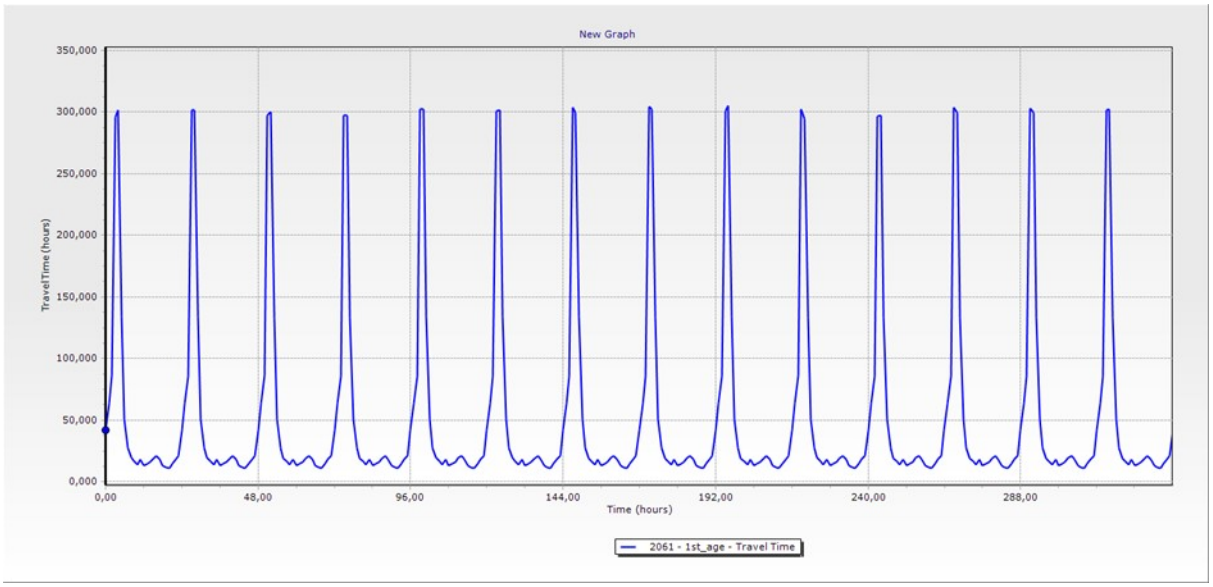
Στον αγωγό 1332 παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση ακόμη και εντός 24ώρου. Ο χρόνος παραμονής του νερού εντοπίζεται μεταξύ 7,4 και 168,15 ωρών. Καθώς περνά ο χρόνος η ροή του νερού στον αγωγό αλλάζει κατεύθυνση, αλλά συνέχεια η ταχύτητα που αναπτύσσεται είναι χαμηλή. Στο διάγραμμα 17 που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση του χρόνου παραμονής του νερού στον αγωγό στην διάρκεια του χρόνου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 17 Διάρκεια παραμονής του νερού στον αγωγό 1332

Παρατηρείται ότι η διακύμανση του χρόνου παραμονής στον αγωγό 2061 είναι εμφανώς μεγαλύτερη σε σχέση με τον αγωγό 1332. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται κάθε 24 ώρες και είναι ίση περίπου με 300 ώρες. Στο διάγραμμα 18 που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση του χρόνου παραμονής του νερού στον αγωγό στην διάρκεια του χρόνου.



Γράφημα 18 Διάρκεια παραμονής του νερού στον αγωγό 2061

Στον πίνακα παρακάτω φαίνονται οι κρίσιμοι αγωγοί για κάθε DMA ως προς το χρόνο παραμονής του νερού, δηλαδή οι αγωγοί που εμφανίζουν την μέγιστη τιμή χρόνου παραμονής μετρούμενο σε ώρες. Επίσης φαίνονται οι μέγιστες τιμές του χρόνου παραμονής που λαμβάνουν χώρα σ' αυτούς, καθώς και ο μέσος όρος παραμονής νερού στους αγωγούς κάθε υποζώνης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 10 Χρόνος παραμονής του νερού στους κρίσιμους αγωγούς σε κάθε DMA για το σενάριο1ο

DMAs	Κρίσιμοι αγωγοί	Χρόνος Παραμονής (hrs)	
		average per dma	max κρίσιμου
A	P-242	0,20	3,49
B	1705	0,42	6,66
Γ	4050	0,71	80,49
Δ	P-1153	0,37	23,74
E	2061	1,25	305,40
ΣΤ	P-1071	0,28	17,10
Z	2907	0,30	7,67
H	1303	0,89	93,17
Θ	P-777	0,48	20,76
I	1161	1,02	62,83
IA	1488	1,05	83,63

Παρατηρείται ότι ο αγωγός 2061, στον οποίο έγινε αναφορά παραπάνω, είναι ο κρίσιμος αγωγός της DMA E. Ο μέγιστος χρόνος παραμονής στον αγωγό ξεπερνάει τις 305 ώρες, ενώ αντιθέτως η μέση τιμή στην υποζώνη διαμορφώνεται ίση με 1,25 ώρες. Γενικότερα βλέπουμε πως κάθε υποζώνη έχει από έναν τουλάχιστον αγωγό που ο χρόνος παραμονής του νερού σε αυτόν μπορεί να ξεπεράσει έως και 300 φορές το χρόνο του μέσου όρου. Είναι λοιπόν χαρακτηριστικό πως όταν ένα δίκτυο μένει ενιαίο κατά την υδροδότηση με πολλές φορές να αλλάζει η φορά του νερού σε έναν αγωγό ή οι ταχύτητες ροής να είναι πολύ μικρές, έχουμε ενηλικιώσεις σημαντικές και δυνητικά μελλοντικά ποιοτικά προβλήματα.

7.2.5.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2ο – ΜΕ DMAs

7.2.5.2.1 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων

Η αμέσως επόμενη κατάσταση μελέτης δηλαδή ολοκληρωμένο σενάριο, είναι τα δεδομένα που αφορούν την ηλικία και την πίεση αλλά αυτή τη φορά με την εφαρμογή των στεγανών υποζωνών. Για κάθε υποζώνη πραγματοποιήθηκε ανάλυση 336 ωρών και εντοπίστηκε ο κρίσιμος κόμβος. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι κρίσιμοι κόμβοι (ονομασία Label από το περιβάλλον του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης) του δεύτερου σεναρίου. Σε κάθε κόμβο που χαρακτηρίζεται κρίσιμος παρουσιάζονται ακόμη η μέση τιμή της πίεσής του, η ελάχιστη τιμή που λαμβάνει, καθώς επίσης και η μέση τιμή της πίεσης όλων των κόμβων κάθε DMAs. Τέλος απεικονίζονται οι κρίσιμοι κόμβοι δεδομένης της ηλικίας και της πίεσης.

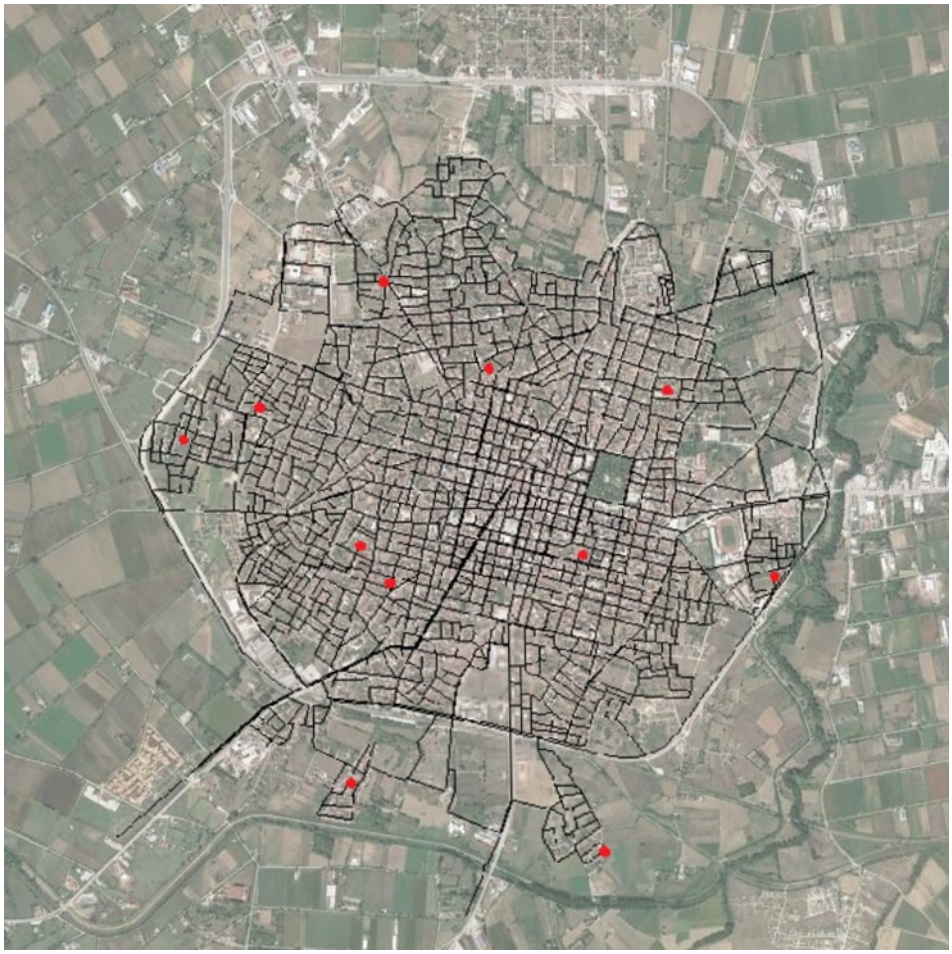
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Η ηλικία των κρίσιμων κόμβων του δικτύου

Πίνακας 11 Ηλικία κρίσιμων κόμβων σε κάθε DMA για το 2ο σενάριο

WITH DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Ηλικία (hours)			Πίεση (kpa)		
		average per dma	average κόμβου	max κρίσιμου	average per dma	average κόμβου	min κρίσιμου
Α	2336	29,70	168,00	336,00	522,10	505,00	436,00
Β	281	37,34	168,00	336,00	494,30	507,42	438,00
Γ	1786	28,81	168,00	336,00	544,83	549,67	480,00
Δ	81	31,07	168,00	336,00	484,70	483,76	422,00
Ε	1400	55,74	168,00	336,00	521,77	522,97	458,00
ΣΤ	1201	30,35	168,00	336,00	543,04	533,12	464,00
Ζ	2269	26,32	32,73	35,68	475,00	473,18	408,00
Η	136	29,63	168,00	336,00	445,81	434,40	376,00
Θ	461	30,17	168,00	336,00	446,10	432,36	373,00
Ι	130	32,29	168,00	336,00	426,04	423,20	367,00
ΙΑ	J-834	33,85	168,00	336,00	392,37	388,93	331,00

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 23 Απεικόνιση της ηλικίας των κρίσιμων κόμβων για το 2ο σενάριο

- Η πίεση των κρίσιμων κόμβων του δικτύου

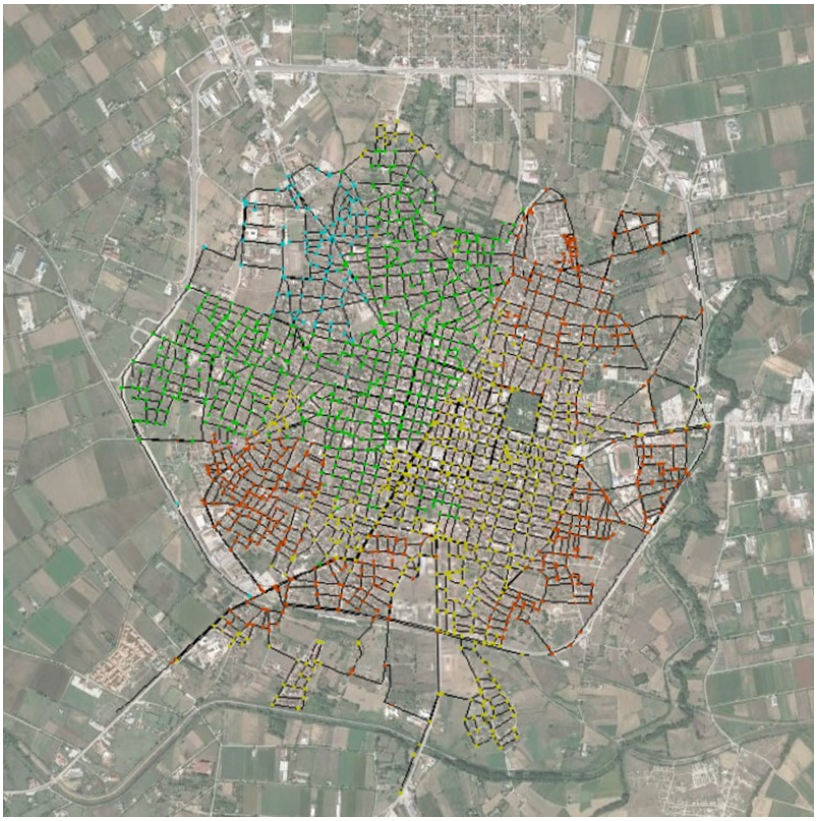
Μελετώντας το δίκτυο για το 2ο σενάριο των στεγανών υποζωνών, αλλά αυτή τη φορά ως προς την πίεση, έχουμε μία τελείως διαφορετική προσέγγιση των τιμών της ηλικίας των κόμβων. Θα παρατηρηθεί παρακάτω πως το να ελέγχεις τις ηλικίες μιας ζώνης από τον ίδιο κόμβο που ελέγχεις και τις πιέσεις είναι μεγάλο λάθος. Δεν υπάρχει καμία εξασφάλιση πως ο κρίσιμος κόμβος ως προς την ελάχιστη πίεση θα είναι και ο κρίσιμος με τη μέγιστη ηλικία εκτός πολύ χαρακτηριστικών συμπτώσεων. Η διακύμανση των τιμών των πιέσεων οριοθετείται μεταξύ 312 και 480kPa. Ως κρίσιμη πίεση θεωρείται η τιμή των 200kPa όποτε οι τιμές αυτές έχουν δυνατότητα βελτίωσης. Να τονίσουμε βέβαια τα ευεργετικά σημάδια της ρύθμισης της πίεσης μόνο από το χωρισμό των DMAs που έχουμε πτώση των τιμών έως και 100 kpa σε κάποιες ζώνες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

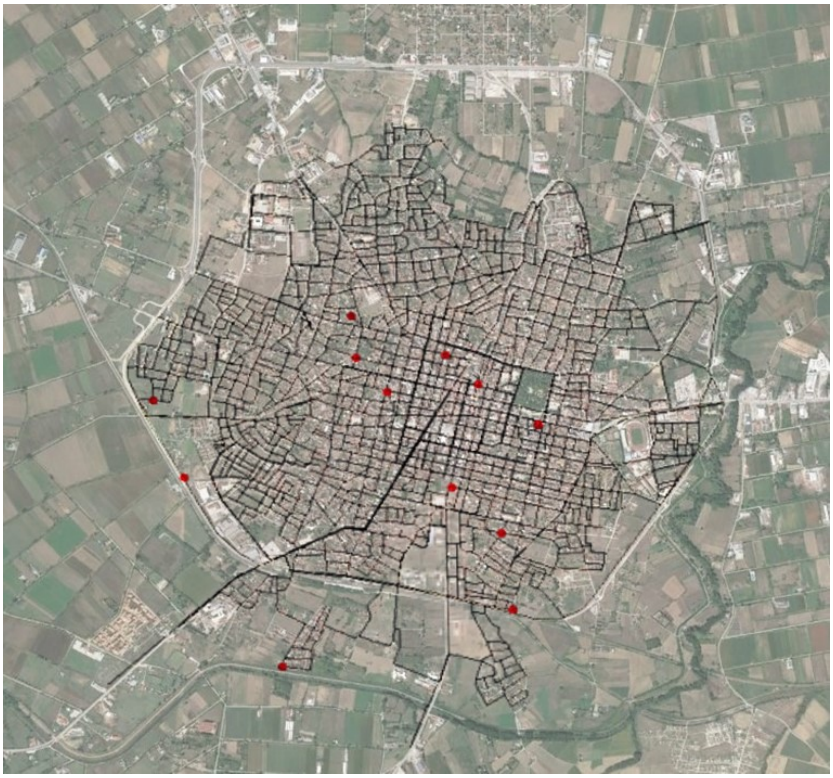
Πίνακας 12 Πίεση κρίσιμων κόμβων σε κάθε DMA για το 2ο σενάριο

WITH DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Πίεση (kpa)			Ηλικία (hours)		
		average per dma	average κόμβου	min κρίσιμου	average per dma	average κόμβου	max κρίσιμου
A	294	522,10	496,00	427,00	29,70	27,36	29,73
B	103	494,31	475,20	409,00	37,34	26,74	29,04
Γ	317	544,00	515,04	445,00	28,81	25,78	28,26
Δ	1414	484,69	440,35	375,00	31,07	26,50	28,78
E	1319	521,77	489,51	424,00	55,74	26,52	28,80
ΣΤ	137	543,04	412,37	353,00	30,35	44,34	49,20
Z	1599	457,00	433,78	373,00	26,32	26,54	28,82
H	1259	445,81	422,53	364,00	29,63	30,12	32,96
Θ	1609	446,10	418,11	358,00	30,17	27,13	29,48
I	2127	426,05	401,00	345,00	32,29	30,05	32,83
IA	550	392,37	366,26	308,00	33,85	41,07	45,26

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 24 Η πίεση των κόμβων του δικτύου για το 2ο σενάριο

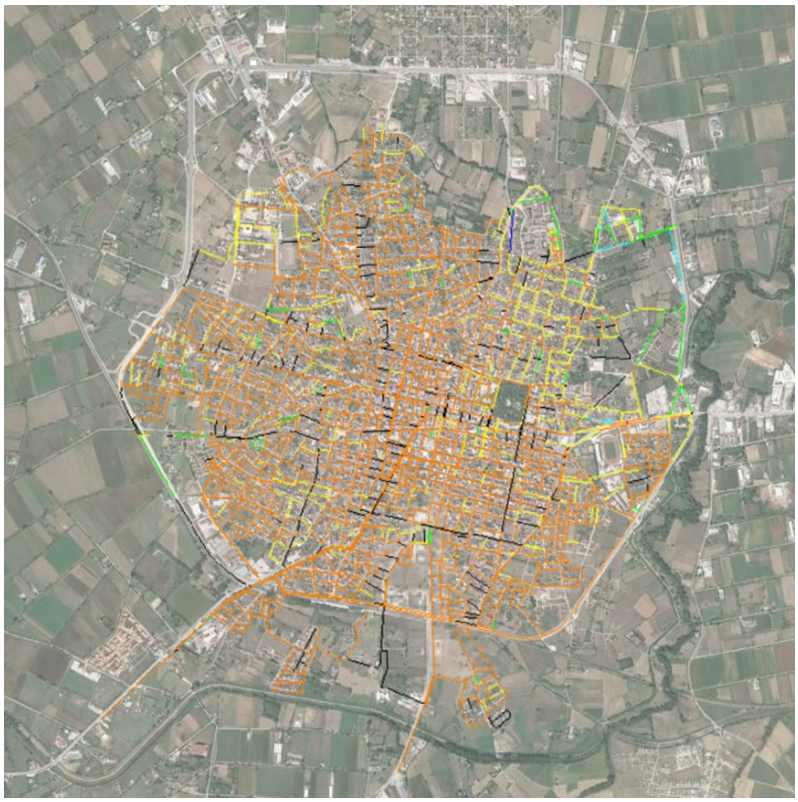


Εικόνα 25 Η θέση των κρίσιμων κόμβων του δικτυού για το 2ο σενάριο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Χρόνος Στασιμότητας του Νερού

Στο 2ο σενάριο, με το χωρισμό του δικτύου σε DMAs, αξιοποιώντας την λειτουργία της χρωματικής απεικόνισης οντοτήτων του εργαλείου υδραυλικής προσομοίωσης με βάση τις τιμές μιας παραμέτρου (εντολή color coding του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης) παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος παραμονής νερού στην πλειονότητα των αγωγών ήταν μικρότερος της μιας ώρας (πορτοκαλί χρώμα στην εικόνα που ακολουθεί). Σε πολλούς αγωγούς ο χρόνος παραμονής του νερού κυμάνθηκε μεταξύ μίας ώρας και τριών ωρών (κίτρινο χρώμα στην εικόνα που ακολουθεί). Όμως πλέον υπάρχουν και αγωγοί με πολύ μεγαλύτερες τιμές παραμονής του νερού σε αυτούς. Όπως γίνεται αντιληπτό, ο χωρισμός των στεγανών υποζωνών δημιούργησε πολλά νεκρά σημεία όπου το νερό δεν κυκλώνει τη διαδρομή του αλλά εξαρτάται πλήρως από τη ζήτηση του τελικού κόμβου για να ενεργοποιηθεί η παροχή προς αυτόν. Έτσι ενώ σε γενικές γραμμές βλέπουμε μία πιο καλά κατανεμημένη ροή μέσα στο δίκτυο με τις περισσότερες τιμές πλέον να είναι κάτω της ώρας, έχουμε στα όρια των ζωνών, αγωγούς με υψηλές τιμές που είναι ανησυχητικό. Ακολουθούν και διαγράμματα που παρουσιάζουν αυτές τις τιμές που ξεπερνούν τις 1000 ώρες ανά 24ωρο (θυμίζουμε πως ο δείκτης προκύπτει από τη διαίρεση του μήκους διά της ταχύτητας). Εκεί έχουμε πάρα πολύ αργή ροή έως μηδενική και πιθανή παρουσία προβλημάτων ποιότητας.

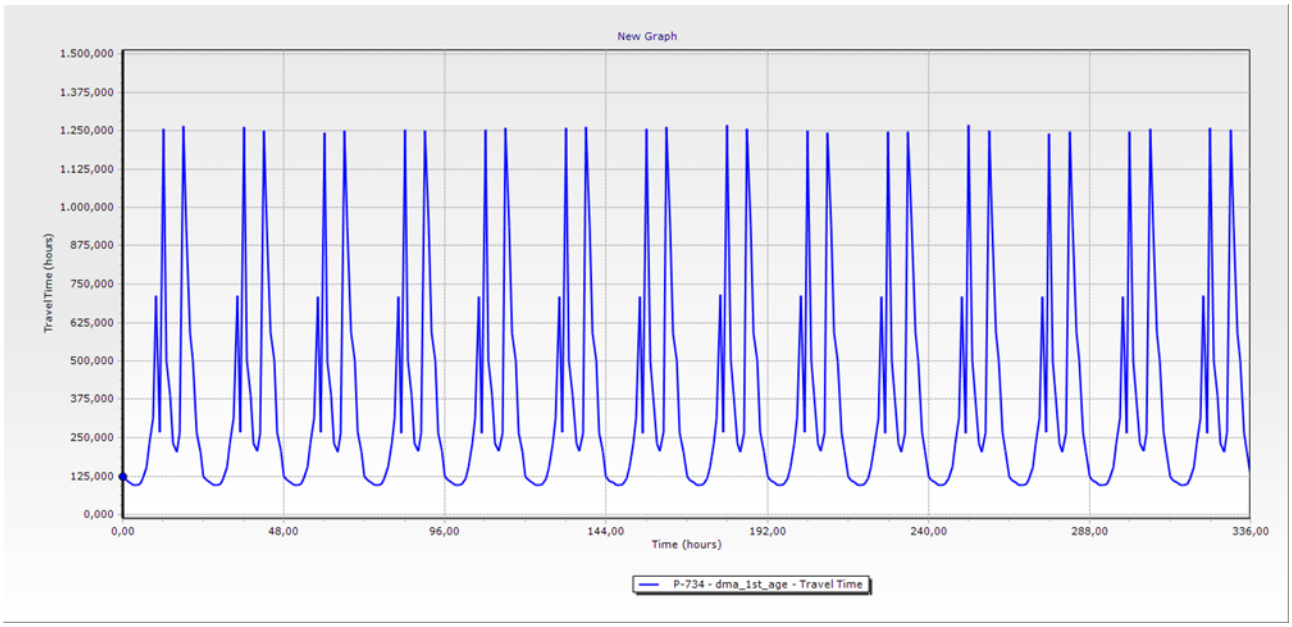


Εικόνα 26 Χρόνος παραμονής του νερού για το σενάριο 2ο.

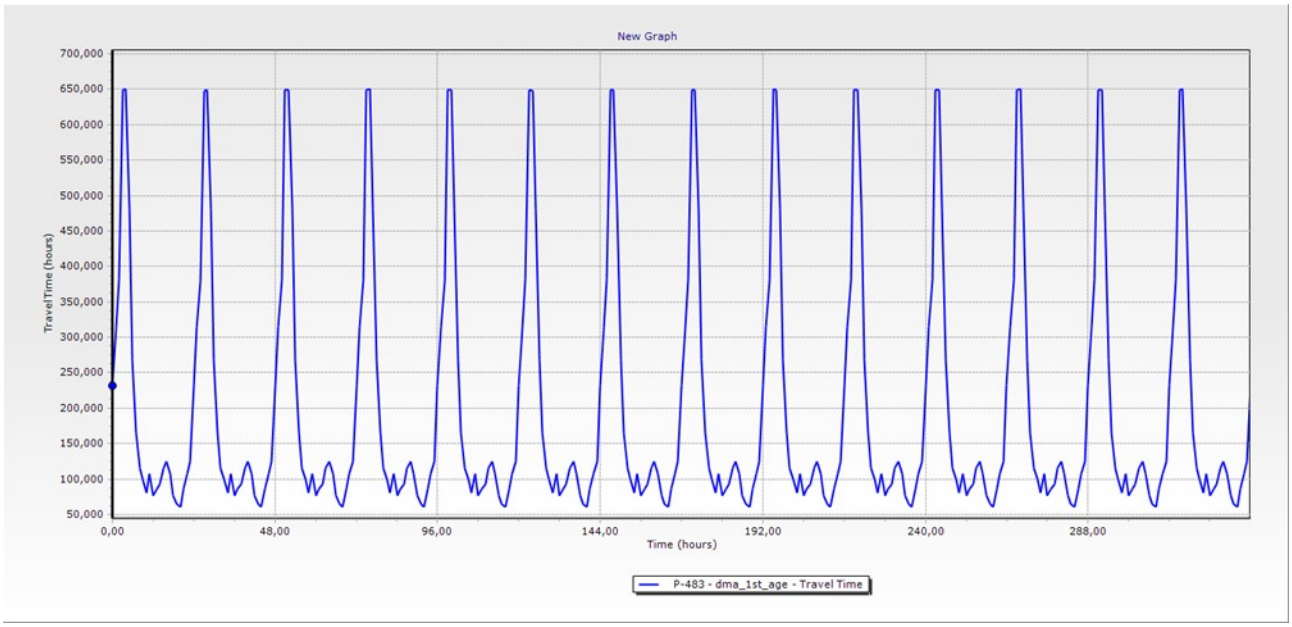
Επομένως σε σημαντικό αριθμό αγωγών ο χρόνος παραμονής του νερού λαμβάνει υψηλές τιμές και η διακύμανσή του στη διάρκεια του χρόνου είναι αρκετά έντονη. Οι περισσότεροι από αυτούς εντοπίζονται στην DMA E, όπου η κατανάλωση είναι η μικρότερη συγκριτικά με την κατανάλωση στις άλλες υποζώνες. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις τέτοιων αγωγών του P-734 και του P-483.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

.



Γράφημα 19 Διάρκεια του νερού στον αγωγό P-734



Γράφημα 20 Διάρκεια του νερού στον αγωγό P-483

Στον πίνακα παρακάτω περιλαμβάνονται οι κρίσιμοι αγωγοί κάθε DMAs, ως προς τον χρόνο παραμονής, δηλαδή οι αγωγοί που εμφανίζουν την μέγιστη τιμή χρόνου παραμονής μετρούμενο σε ώρες. Επίσης φαίνονται οι μέγιστες τιμές του χρόνου παραμονής που λαμβάνουν χώρα σ' αυτούς, καθώς και ο μέσος όρος παραμονής νερού στους αγωγούς κάθε υποζώνης, όπως και προηγουμένως.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 13 Διάρκεια του νερού ανά DMA για το 2ο σενάριο

DMAs	Κρίσιμοι αγωγοί	Χρόνος Παραμονής (hrs)	
		Average per dma	max κρίσιμου
A	P-1109	0,68	68,23
B	P-1159	0,65	17,58
Γ	P-331	0,95	168,64
Δ	899	0,78	94,88
E	P-483	4,40	208,40
ΣΤ	2745	0,67	24,99
Z	2907	0,43	7,67
H	2188	0,81	19,03
Θ	P-777	0,43	20,76
I	585	1,13	223,83
IA	1190	1,17	43,78

Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου παραμονής στον κρίσιμο αγωγό κάθε ζώνης είναι εμφανώς μεγαλύτερη σε σύγκριση με την μέση τιμή του χρόνου παραμονής κάθε υποζώνης. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν οι υποζώνες Γ και I, όπου με μέση τιμή χρόνου παραμονής περίπου 1 ώρα, ενώ η μέγιστη τιμή του κρίσιμου αγωγού ξεπερνάει τις 200 ώρες. Επομένως η συμπεριφορά του δικτύου είναι παρόμοια με το σενάριο 1, με την διαφορά ότι έχουμε πιο ακραίες τιμές στα μέγιστα που σίγουρα είναι κάτι σημαντικό και πρέπει να ληφθεί υπόψιν.

7.2.5.3 Συμπεράσματα σχετικά με την ηλικία του δικτύου

Συνοψίζοντας στα κεφάλαια που προηγήθηκαν υπολογίστηκε η ηλικία νερού στους κόμβους του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας για δύο περιπτώσεις: στην πρώτη το δίκτυο δεν χωρίστηκε DMAs (σενάριο 1), ενώ δεύτερη έγινε ο χωρισμός του δικτύου 11 DMAs (σενάριο 2)

Από τον πίνακα που ακολουθεί είναι εμφανές ότι μετά το χωρισμό του δικτύου σε DMAs, η ηλικία του νερού στους κόμβους κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα στις περισσότερες εξ' αυτών, ενώ σε ορισμένες παρατηρείται μια οριακή αύξηση. Εξαίρεση αποτελεί η υποζώνη Ε, όπου η αύξηση της της ηλικίας του νερού ξεπερνάει το 15%.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

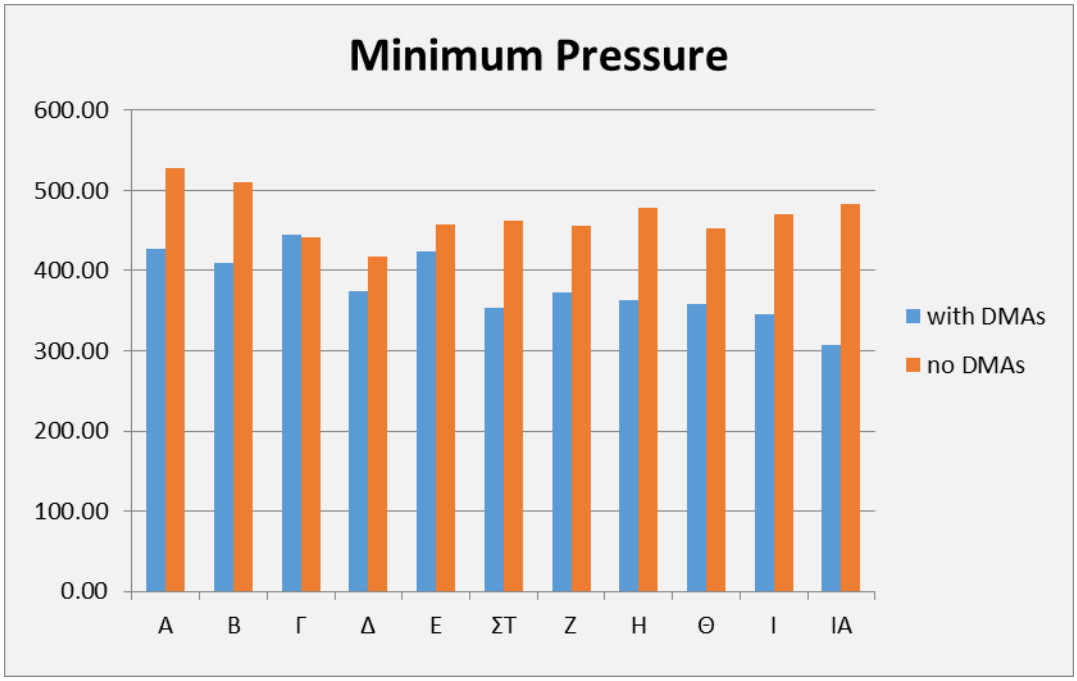
Πίνακας 14 Μέση Ηλικία για κάθε DMA για κάθε σενάριο

	Average Water Age (hrs)	
DMAs	no DMAs	with DMAs
A	29,71	29,70
B	38,74	37,34
Γ	28,47	28,81
Δ	29,90	31,07
E	47,72	55,74
ΣΤ	30,90	30,35
Z	26,30	26,32
H	28,17	29,63
Θ	30,86	30,17
I	29,81	32,29
IA	33,97	33,85

7.2.5.4 Η ηλικία του δικτύου συνοπτικά

Όσον αφορά την πίεση στο δίκτυο όπως έγινε αντιληπτό και από την παρουσίαση του ανάλογου κεφαλαίου πιο πάνω έχουμε καλύτερες τιμές γενικά. Χωρίζοντας την πόλη της Καρδίτσας σε 11 στεγανές υποζώνες, αμέσως το νερό κινήθηκε από συγκεκριμένες εισόδους σε αυτές και ρύθμισε κατά πολύ την συνεπιρροή άλλων κόμβων. Στο παρακάτω γράφημα 21 παρουσιάζεται η ελάχιστη πίεση των κρίσιμων κόμβων για κάθε DMAs και για τις δύο περιπτώσεις σεναρίων. Παρατηρείται ότι ο χωρισμός του δικτύου σε στεγανές υποζώνες οδήγησε σε υποβάθμιση της πίεσης των κρίσιμων κόμβων, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερη από 150kPa. Επίσης οι τιμές της πίεσης που διαμορφώθηκαν δεν είναι μικρότερες από 200kPa, το οποίο αποτελεί το κατώτατο επιτρεπτό όριο για την εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας ενός δικτύου. Είναι πολύ ενθαρρυντικά δείγματα σε σχέση με τα περισσότερα δίκτυα καθώς συνήθως η μείωση της πίεσης από τη ζωνοποίηση ενός δικτύου είναι της τάξης του 5 με 7% και όχι έως και 30% όπως εδώ.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 21 Ελάχιστη πίεση κρίσιμων κόμβων για κάθε DMAs

Επιλέγοντας κάποιους αγωγούς να κλείσουν, σημειώθηκε περαιτέρω μείωση της πίεσης στους κόμβους. Η μέση πίεση κάθε υποζώνης μειώθηκε περίπου κατά 1atm (100kPa). Η μέση πίεση στις υποπεριοχές για τα 2 σενάρια παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 15 Μέση Πίεση για κάθε DMA για κάθε σενάριο

	Average Pressure (kpa)	
DMAs	no DMAs	with DMAs
A	529,71	432,10
B	511,56	405,90
Γ	536,13	445,23
Δ	526,52	417,40
E	559,20	458,00
ΣΤ	547,73	460,40
Z	536,49	457,00
H	560,27	445,81
Θ	554,28	446,10
I	565,25	426,05
IA	574,26	392,37

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.2.5.5 Συμπεράσματα σχετικά με τον χρόνο παραμονής νερού

Παράλληλα με την πίεση και την ηλικία εξετάζεται και ο χρόνος παραμονής νερού των αγωγών. Από τα προηγούμενα κεφάλαια έχουμε τα δεδομένα που βλέπουμε στον πίνακα παρακάτω. Καθώς χωρίστηκε σε 11 DMAs η πόλη της Καρδίτσας, τονίσαμε πως οι μέσες τιμές των περισσότερων υποζωνών παρέμειναν χαμηλές. Όχι όμως όσο χαμηλές ήταν και πριν. Βλέπουμε λοιπόν αυξήσεις, σε κάποιες σημαντικές, εκτός 2 που έχουμε πολύ μικρή βελτίωση. Εξηγήσαμε πως η εμφάνιση πολλών τελικών κόμβων με το νερό να μην έχει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης όλων των βρόγχων και η καθυστέρηση που απαιτείται πλέον τακτικά να υποστεί το νερό ταξιδεύοντας από τη μία είσοδο DMA σε άλλη, επέφεραν αύξηση των τιμών της ηλικίας. Επιβεβαιώνουμε λοιπόν πως ο μελετητής ή ο παρατηρητής νερού θα πρέπει για ακόμα μία φορά να λάβει υπόψιν του τις επιπτώσεις ακόμα και της ζωνοποίησης στην ηλικία, αναγκάζοντάς τον να λάβει επιπλέον μέτρα εκεί που απαιτεί η κατάσταση.

Πίνακας 16 Μέση χρονική διάρκεια του νερού ανά DMA και για τα δύο σενάρια

DMAs	Χρόνος Παραμονής (hrs)	
	no DMAs	with DMAs
A	0,20	0,68
B	0,42	0,65
Γ	0,71	0,95
Δ	0,37	0,78
E	1,25	4,40
ΣΤ	0,28	0,67
Z	0,30	0,43
H	0,89	0,81
Θ	0,48	0,43
I	1,02	1,13
IA	1,05	1,17

Επιπρόσθετα, από την μελέτη του δικτύου παρατηρήθηκε πως και στα δυο σενάρια οι υποζώνες Ε, Θ και ΙΑ, οι οποίες είναι πιο απομακρυσμένες, παρουσίαζαν μεγαλύτερη διακύμανση του χρόνου παραμονής νερού. Ειδικότερα όσον αφορά το δίκτυο που είναι χωρισμένο σε υποζώνες, οι αγωγοί της υποζώνης Ε παρουσίασαν μεγάλο εύρος διακύμανσης. Αυτοί οι αγωγοί εξυπηρετούν κόμβους με μικρές καταναλώσεις και οι ταχύτητες των αγωγών είναι εξίσου μικρές.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.3. Η περίπτωση της περιοχής Νέα Δημητριάδα Βόλου

Η επόμενη περιοχή που τέθηκε σε ψηφιοποίηση και μελέτη είναι η περιοχή της Νέας Δημητριάδας Βόλου. Το ενδιαφέρον σε αυτή τη περιοχή και ο λόγος που επιλέχθηκε για μελέτη είναι το νέο κατασκευασμένο δίκτυο από πολυαιθυλένιο που έχει πολύ μικρές απώλειες αλλά και η καλή γνώση της λειτουργίας του δικτύου από τη ΔΕΥΑ που περιορίζει τις όποιες υποψίες μη εξουσιοδοτημένων χρήσεων. Επίσης έχουμε ένα παράδειγμα σημαντικής μελέτης τμήματος δικτύου που είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε πολλές μεγάλες πόλεις. Είναι εξαιρετικά δαπανηρό να ψηφιοποιείς μεγάλες εκτάσεις με πύκνωση και τεράστιος ο όγκος των δεδομένων προς επεξεργασία για να γίνεται κάθε φορά ενιαία.

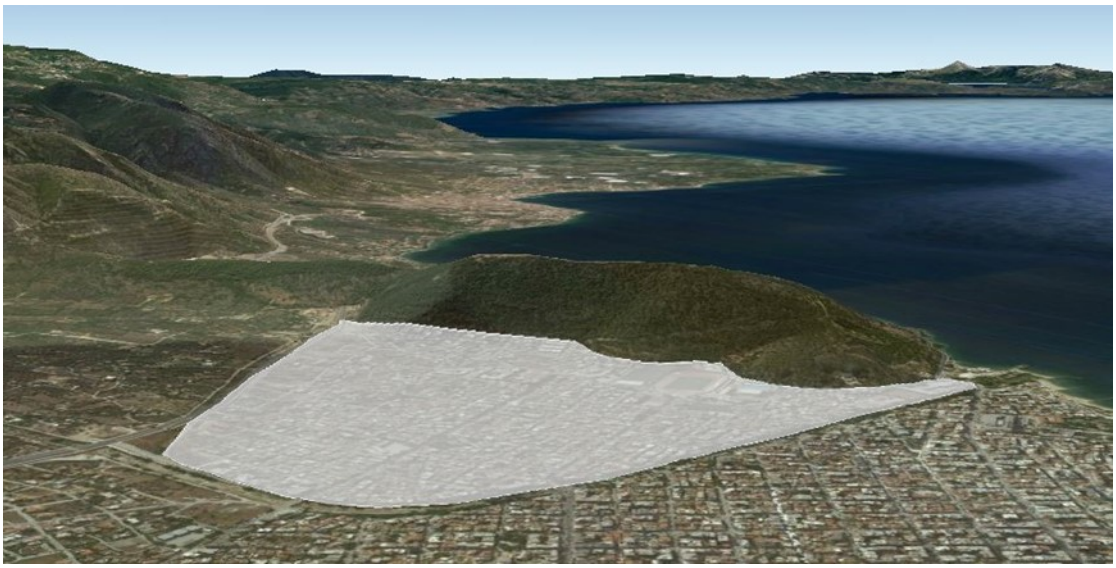
7.3.1. Περιγραφή του δικτύου της Νέας Δημητριάδας

Εικόνα 27 Οι κεντρικοί δρόμοι της Νέας Δημητριάδος Βόλου

Το δίκτυο ύδρευσης εντοπίζεται στο ανατολικό τμήμα της πόλης και συγκεκριμένα καταλαμβάνει τμήμα που από το βορρά συνορεύει με την περιφερειακή οδό, στην δυτική πλευρά, το δίκτυο διακόπτεται από τον ποταμό Άναυρο (χείμαρρο που διασχίζει την πόλη). Στην νότια πλευρά, το δίκτυο φτάνει λίγο πριν την ακτή, συνορεύοντας με τον Άναυρο και λήγοντας πριν τις εκβολές του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

στον Παγασητικό κόλπο. Ο ορεινός όγκος της Γορίτσας συνεισφέρει έντονα γεωμετρικά στην υψομετρική κατανομή του δικτύου καθώς μέχρι και στους πρόποδές του συναντώνται κομμάτια του δικτύου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 28 Πανοραμική όψη της Νέας Δημητριάδας (Google Earth)

Σε ό,τι αφορά στο υψόμετρο που βρίσκεται το δίκτυο, αυτό ξεκινάει από το επίπεδο της θάλασσας στα 7 μέτρα και φτάνει τα 62. Ωστόσο καθ΄ όλη την έκταση του παρουσιάζει αρκετές αυξομειώσεις, γεγονός που κάνει τη μελέτη του αρκετά δυσκολότερη.

Το δικτύου της Νέας Δημητριάδος, το οποίο μελετάται για λογαριασμό της παρούσας εργασίας, είναι κυρίως βαρυτικό, γι’ αυτό και απουσιάζουν τα αντλιοστάσια. Ειδικότερα, οι αγωγοί του δικτύου είναι από υλικό PVC, πολυαιθυλένιο (PE), χυτοσίδηρο και χάλυβα. Μάλιστα, από χάλυβα είναι τα παλαιότερα κομμάτια του δικτύου τα οποία σταδιακά αντικαθίστανται με πολυαιθυλένιο. Γενικότερα, το πολυαιθυλένιο είναι το υλικό που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε κάθε υδραυλικό έργο ύδρευσης, με εξαίρεση αυτά που χρήζουν ειδικής μεταχείρισης.

Οι ονομαστικές διάμετροι των αγωγών είναι: για τις οικιακές συνδέσεις Φ63 και Φ90, στους κεντρικούς αγωγούς εντός του κέντρου της πόλης Φ200 και σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου που λειτουργούν ως οι κύριοι αγωγοί με τους οποίους μεταφέρεται το νερό από τις δεξαμενές υδροδότησης είναι Φ315 (Ρωμανάς 2017).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 29 Χρωματική προβολή των αγωγών του δικτύου σε mm

Σε πολύ λίγα σημεία υπάρχουν αγωγοί Φ600, οι οποίοι είναι φτιαγμένοι από χάλυβα και συνδέουν τις δεξαμενές με τις εισόδους του δικτύου της Νέας Δημητριάδας.

Εικόνα 30 Οδεύσεις δύο δεξαμενών υδροδότησης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Το δίκτυο στηρίζει την τροφοδοσία του στις 2 μεγάλες δεξαμενές υδροδότησης που διαθέτει. Η πρώτη εξ αυτών αποκαλείται 'Δεξαμενή Γεροκομείου' και βρίσκεται σε απόσταση 2,9km από την είσοδο νερού στην περιοχή μελέτης. Ο διαθέσιμος όγκος είναι 3200 m^3 και εδράζεται σε υψόμετρο 90 μέτρων. Η δεύτερη δεξαμενή έχει χωρητικότητα 6000 m^3, βρίσκεται σε υψόμετρο 65 μέτρων και περίπου 5,6km από το σημείο εισόδου.

Στο δίκτυο είναι συνδεδεμένα και εξυπηρετούνται περισσότερα από 4047 υδρόμετρα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του έχει φτιαχτεί για να εξυπηρετήσει περίπου τους 6000 καταναλωτές. Μεταξύ αυτών υπάρχουν και σημαντικοί καταναλωτές όπως οι αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικό Αθλητικό Κέντρο Βόλου (Ε.Α.Κ), το οποίο περιλαμβάνει και δύο κολυμβητικές δεξαμενές με αυξημένες ανάγκες ύδατος.

7.3.2. Σενάριο 1,2- Μελέτη της ηλικίας και της πίεσης της υφιστάμενης κατάστασης έως τη βέλτιστη λύση τμηματοποίησης και χρήσης PRVs

Απεικονίζεται η υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου που διαμορφώθηκε με βάση τα στοιχεία που παρείχε η εταιρία ύδρευσης. Η μέση τιμή ηλικίας για το νερό σε ώρες, ξεπερνάει τις 75 εκτελώντας ανάλυση διάρκειας 336 ωρών (14 ημέρες).

Εικόνα 31 Σενάριο χωρίς DMAs. Παρουσίαση κόμβων ως προς την πίεση

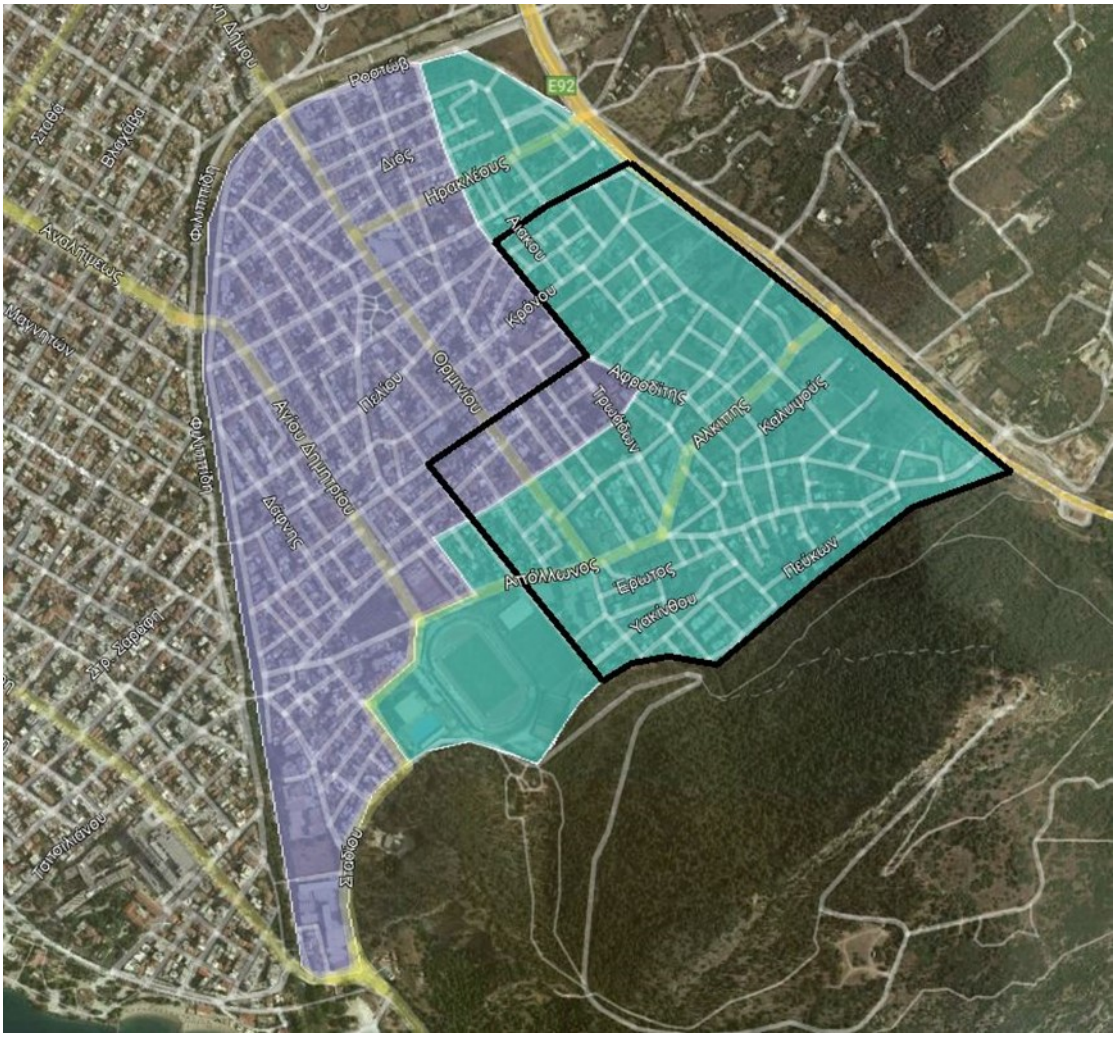
Η μέση πίεση των κόμβων σε ολόκληρο το 24ωρο ισούται με 3,4 ατμόσφαιρες, τιμή η οποία είναι αισθητά μεγαλύτερη από τις δύο που αποτελούν το κατώτατο όριο, ορισμένο από τους εθνικούς κανονισμούς άρτιας λειτουργίας και σχεδιασμού δικτύων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 32 Σενάριο χωρίς DMAs. Παρουσίαση αγωγών ως προς την ηλικία του νερού

Το τμήμα όπου παρατηρείται χαμηλότερη πίεση και αυξημένη ηλικία βρίσκεται κοντά στο λόφο της Γορίτσας (αγωγοί με κόκκινο χρώμα). Αυτό είναι αρκετά λογικό από την στιγμή η συγκεκριμένη περιοχή είναι αρκετά απομακρυσμένη από τα σημεία εισόδου νερού στο δίκτυο, ενώ η κατάσταση δυσχεραίνεται από το ανάγλυφο της περιοχής, δηλαδή της αύξησης του υψομέτρου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 33 Οι μεγαλύτερες ηλικίες και οι χαμηλότερες πιέσεις του νερού

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της πίεσης και της ηλικίας του νερού των κρίσιμων κόμβων που προέκυψαν από την ανάλυση. Η ονομασία των κόμβων ταυτίζεται με την ονομασία που δόθηκε αυτόματα από το λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης (καρτέλα «Label») προκειμένου να είναι ευκολότερη η αντιστοίχιση.

Πίνακας 17 Σενάριο 1ο – Νο DMAs. Πίεση και η ηλικία των κρίσιμων κόμβων

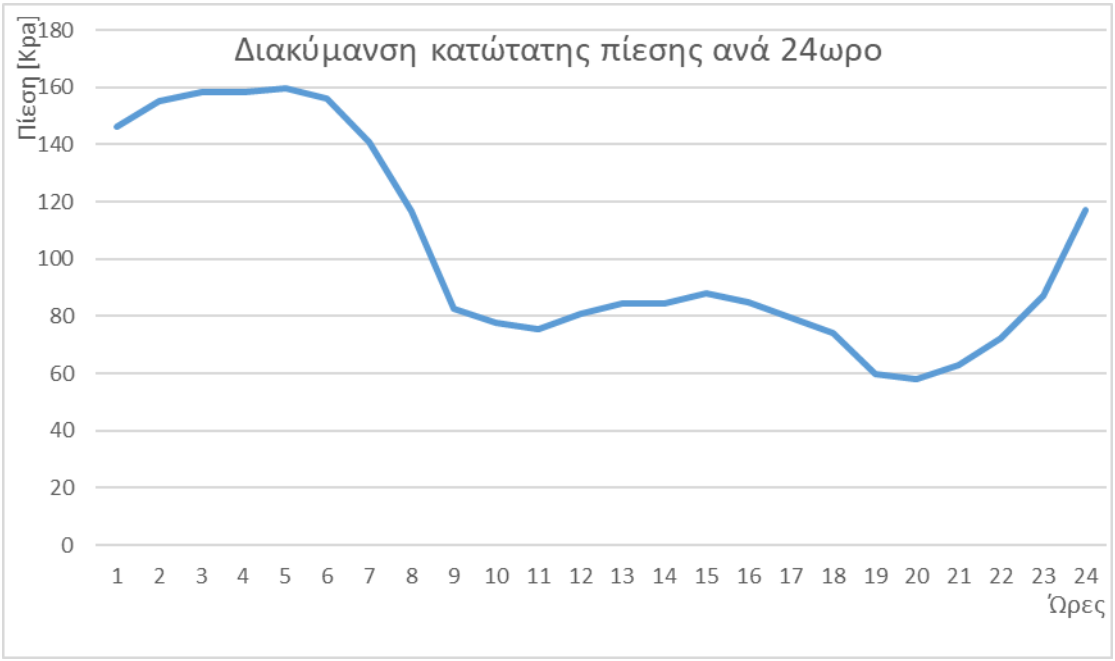
	ΠΙΕΣΗ		ΗΛΙΚΙΑ	
Κρίσιμοι Κόμβοι	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
J-555	102.65	58.18	168.00	336.00
J-634	102.72	58.32	143.99	229.33
J-641	102.73	58.32	132.43	187.71
J-642	102.73	58.32	132.02	186.94
J644	102.73	58.32	132.80	188.42

Από την ανάλυση διάρκειας ενός 24ώρου, προέκυψε ότι ο κόμβος J-555 παρουσιάζει την χαμηλότερη πίεση σε ολόκληρη την διάρκεια της μέρας. Να τονίσουμε όπως περιεγράφηκε και στο προηγούμενο δίκτυο μελέτης της Καρδίτσας ότι, δεν είναι απαραίτητα κοινός ο κρίσιμος κόμβος της πίεσης με της ηλικίας. Όμως εδώ σχετικά με την πίεση έχουμε παραπάνω από έναν κρίσιμο κόμβο αφού 5 στο σύνολο έχουν σχεδόν ίδια χαμηλή τιμή και πρέπει να τύχουν παρακολούθησης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 34 Σενάριο 1ο - Νο DMAs – Επισήμανση κρίσιμων κόμβων

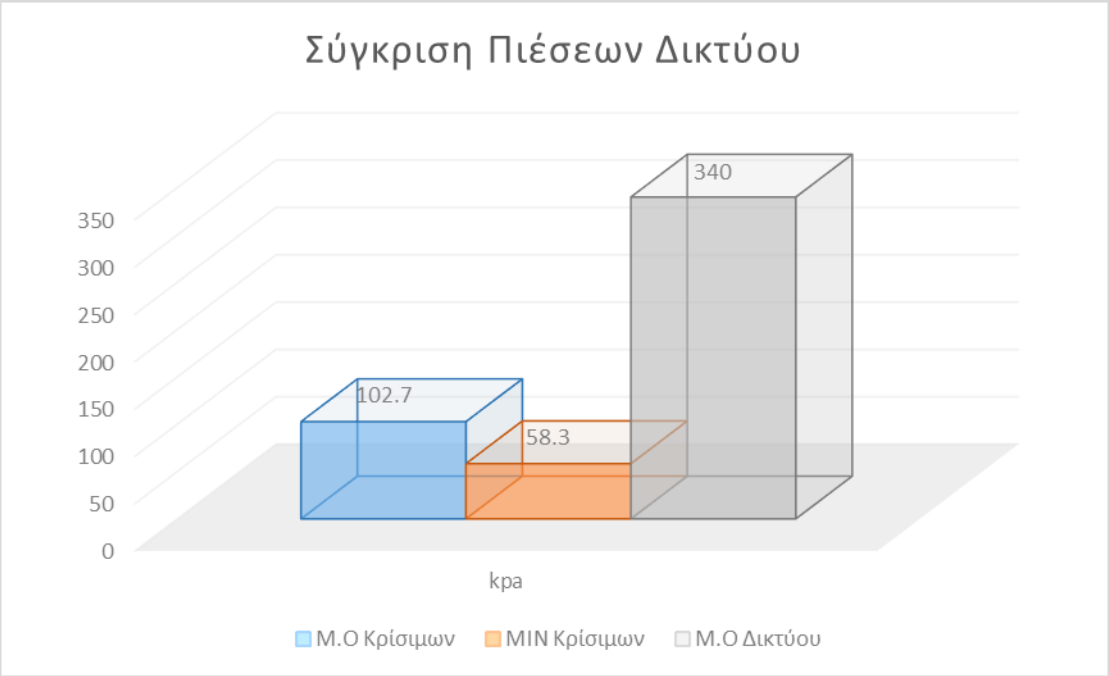
Επίσης άλλοι τέσσερις κόμβοι χαρακτηρίζονται κρίσιμοι ως προς την πίεση στις 2:00 και στις 8:00.



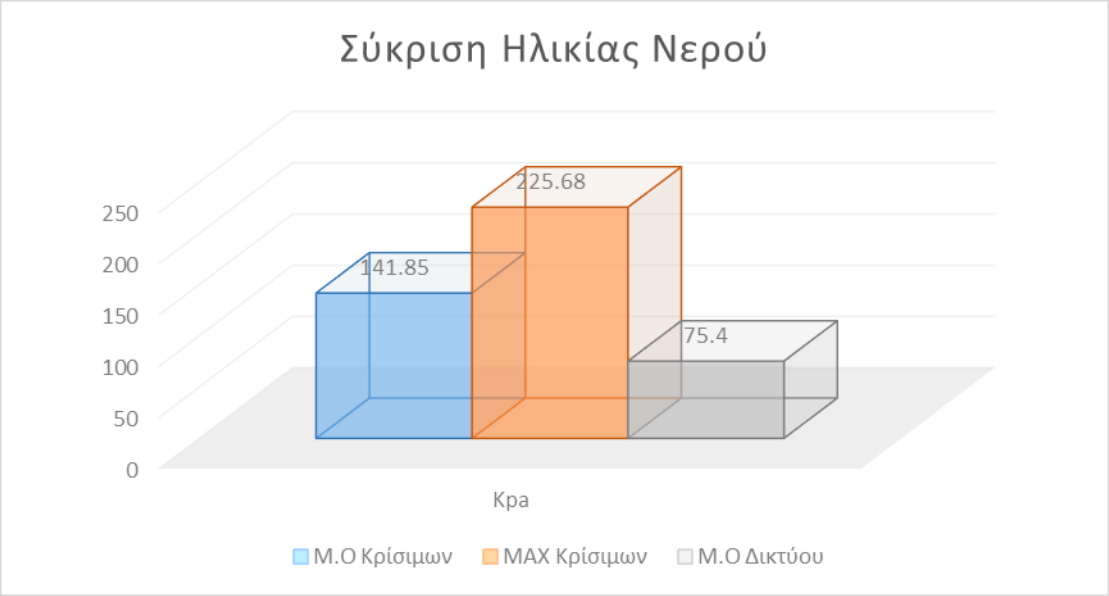
Γράφημα 22 Χρονική εξέλιξη κρίσιμης πίεσης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Στο παραπάνω γράφημα αποτυπώνεται η χρονική εξέλιξη της κρίσιμης πίεσης που αντιστοιχεί στο κόμβο 555. Είναι εμφανές ότι στην διάρκεια της νύχτας η πίεση παρουσιάζει υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ώρες της μέρας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οικιστικής ζώνης αλλά και δικτύου με μικρό δείκτη απωλειών.



Γράφημα 23 Σενάριο 1ο- Νο DMAs. Σύγκριση Πιέσεων Δικτύου



Γράφημα 24 Σενάριο 1ο- Νο DMAs. Σύγκριση Ηλικίας Δικτύου

Η πρώτη παρέμβαση στο δίκτυο έγινε τον χωρισμό της περιοχής σε 2 επιμέρους υποπεριοχές. Η επιλογή των ορίων των δύο υπόπεριοχών έγινε με γνώμονα τη γεωμετρία της περιοχής και την ομοιογενή συμπεριφορά των δύο τμημάτων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 35 Σενάριο χωρισμός σε 2 DMAs. Χρωματική διαβάθμιση ηλικίας νερού

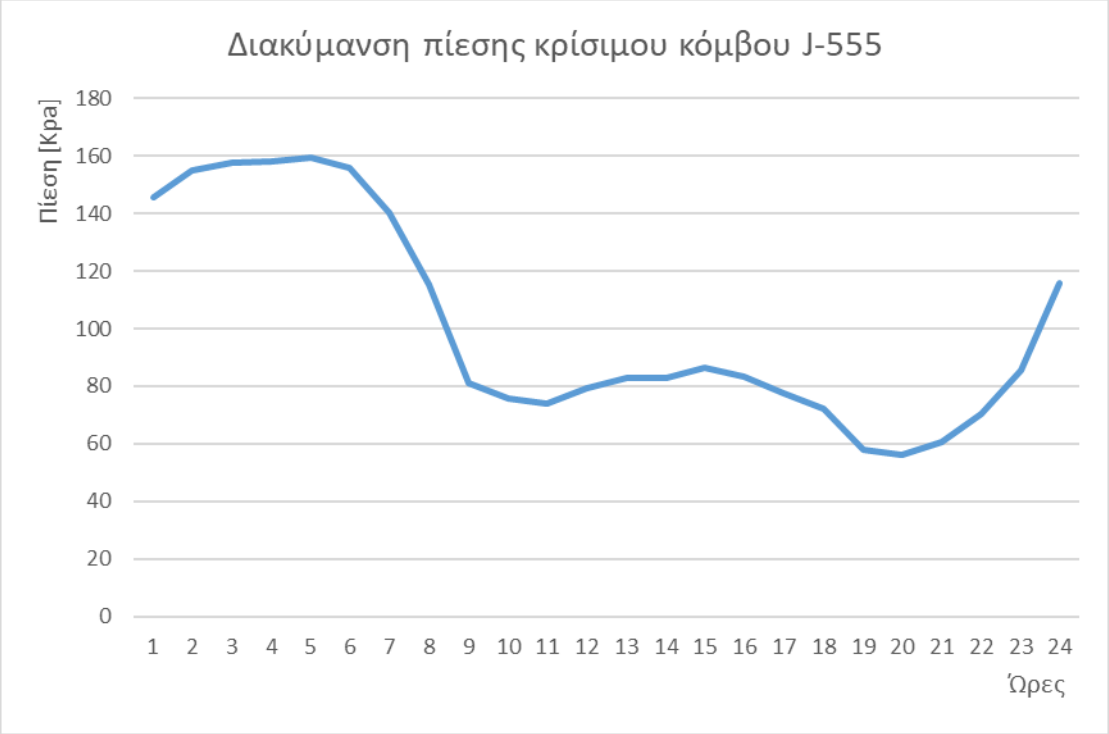
Η Η διαδικασία διαχωρισμού έγινε με το κλείσιμο των αγωγών που συνδέουν τις δύο περιοχές δηλαδή εικονικά τοποθετώντας βαλβίδες αποκλεισμού και θέτοντάς τες σε λειτουργία υδραυλικού αποκλεισμού. Η συγκεκριμένη διαδικασία οδήγησε στην μεταβολή του μέσου όρου της ηλικίας νερού, ενώ αντίθετα η μέση τιμή της πίεσης παρέμεινε σχεδόν ίδια.

Ειδικότερα, ο μέσος όρος ηλικίας νερού μειώθηκε παραπάνω από 4 ώρες και διαμορφώθηκε ίσος με 71,7 ώρες για ανάλυση 336 ωρών, ενώ η μέση τιμής της πίεσης διαμορφώθηκε ίση 339 kPa, δηλαδή δεν υπήρξε ουσιαστική μεταβολή σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 36 Σενάριο χωρισμός σε 2 DMAs. Κρίσιμοι κόμβοι.

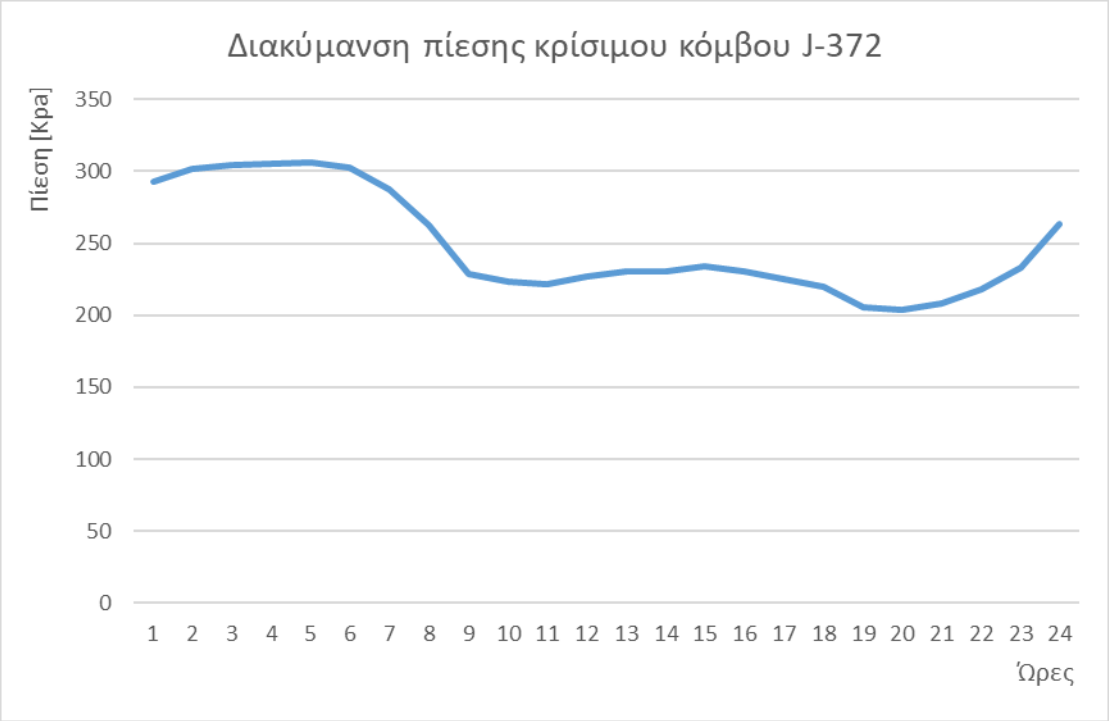
Ο κρίσιμος κόμβος της πρώτης DMA που ταυτόχρονα είναι κρίσιμος για όλο το δίκτυο, είναι ο J-555, δηλαδή ο ίδιος με προηγουμένως και είναι κρίσιμος κόμβος για όλο το 24ωρο.



Γράφημα 25 Σενάριο 2ο- 2 DMAs. Πίεση του κόμβου J-555 σε 24 ώρες (DMA 1)

Ο κρίσιμος κόμβος της δεύτερης υποζώνης εντοπίζεται σε μία από τις 2 εισόδους που ενώνει τις δύο υποζώνες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 26 Σενάριο 2ο- 2 DMAs. Πίεση του κόμβου J-372 σε 24 ώρες (DMA 2)

Πίνακας 18 Σενάριο 2ο – 2 DMAs. Πίεση και ηλικία νερού κρίσιμων κόμβων

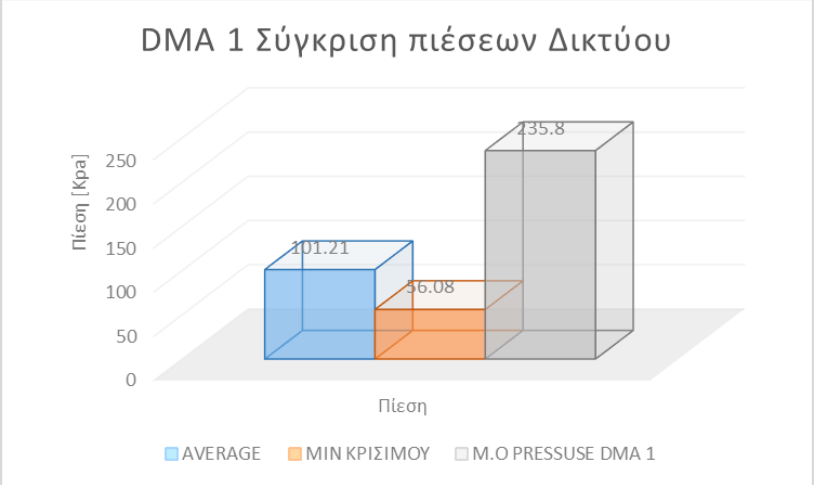
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	ΠΙΕΣΗ [kPa]		ΗΛΙΚΙΑ [hours]	
		AVERAGE	MIN ΚΡΙΣΙΜΟΥ	AVERAGE	MAX ΚΡΙΣΙΜΟΥ
1	J-555	101,21	56,08	168	336
2	J-372	203,86	248,55	73,78	91,26

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι κρίσιμοι κόμβοι κάθε υποζώνης και οι κρίσιμες τιμές της πίεσης και της ηλικίας του νερού που παρουσιάζουν. Παρατηρούμε γενικότερα και δεν μπορούμε να αφήσουμε χωρίς σχόλιο ένα πολύ σημαντικό θέμα. Η πίεση στον ένα κρίσιμο κόμβο ήταν και παραμένει να είναι πολύ χαμηλή. Με κατώτερο όριο καλής λειτουργίας τα 200kpa, εδώ έχουμε κρίσιμο κόμβο στα 56 που σημαίνει πολύ πιο κάτω από το όριο. Σε θεραπεία αυτού του δεδομένου παρακάτω θα προταθεί και θα μοντελοποιηθεί ένα σενάριο που θα λύσει αυτό το πρόβλημα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

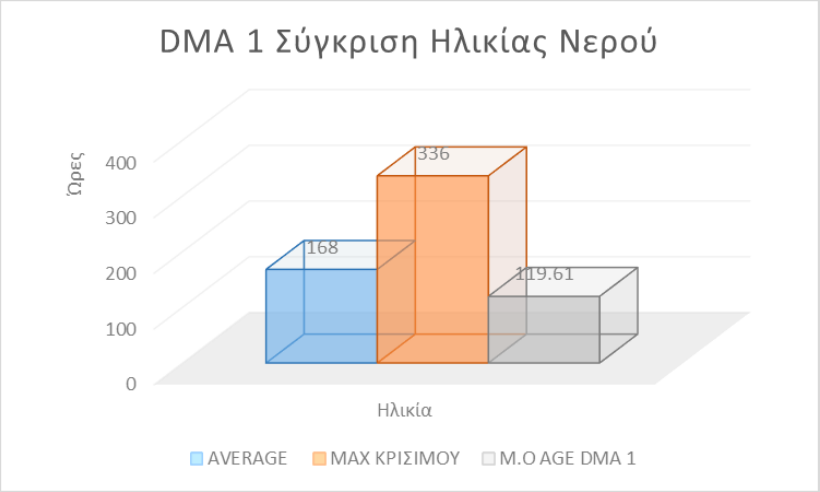
Εικόνα 37 Σενάριο χωρισμός σε 2 DMAs. Περιοχή με τη μέγιστη ηλικία νερού. (βελτιωμένη κατάσταση)

Στην συνέχεια ακολουθούν κάποια διαγράμματα που συγκρίνουν τη πίεση και την ηλικία των κρίσιμων κόμβων με σε σχέση με τον μέσο όρο που διαμορφώνεται σε κάθε DMA.

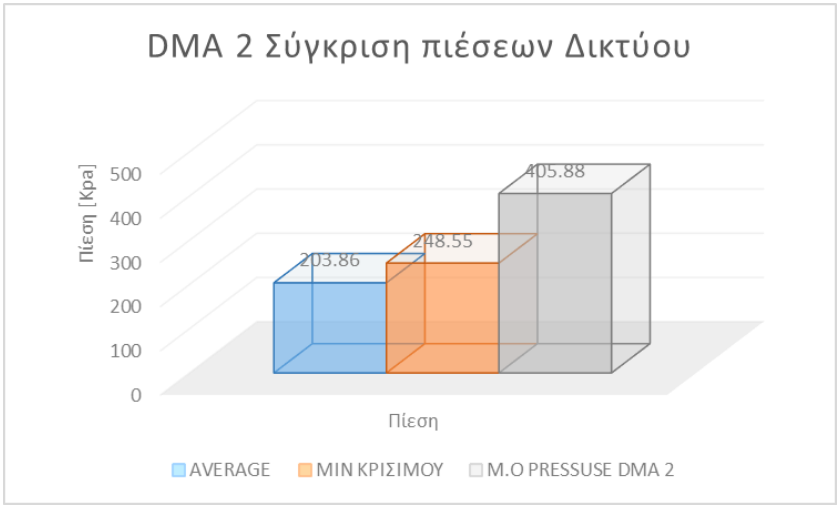


Γράφημα 27 Σενάριο 2ο -2 DMAs. Σύγκριση πιέσεων του δικτύου στην DMA 1

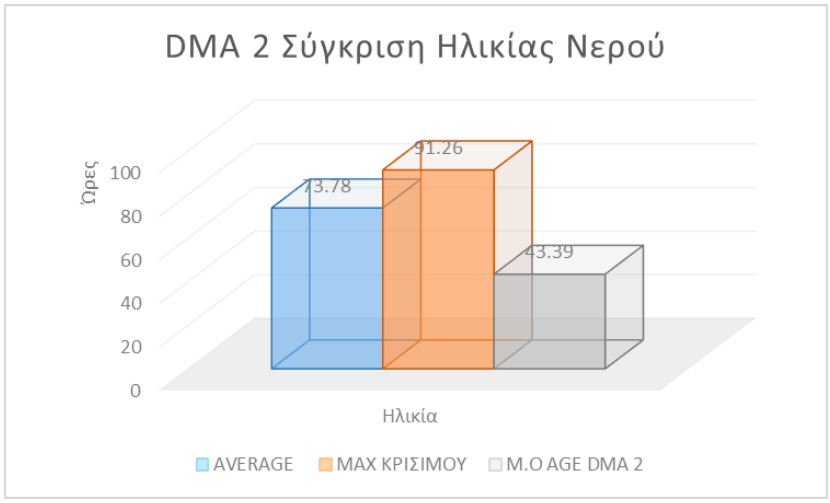
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 28 Σενάριο 2ο- 2 DMAs. Σύγκριση ηλικίας του νερού στην DMA 1



Γράφημα 29 Σενάριο 2ο- 2 DMAs. Σύγκριση πιέσεων του δικτύου στην DMA 2



Γράφημα 30 Σενάριο 2ο- 2 DMAs. Σύγκριση ηλικίας του νερού στην DMA 2

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.3.3. Σενάριο 3 – Διαχωρισμός δικτύου σε 4 DMAs

Καθώς οι δύο υποζώνες που εξετάστηκαν προηγουμένως δεν έχουν καλή ομοιογένεια αλλά και εξυπηρετούν μεγάλη έκταση η καθεμία, έγινε μία ακόμα προσέγγιση για διαφορετική ζωνοποίηση αυτή τη φορά σε τέσσερις DMAs. Πιο συγκεκριμένα, έγινε διαχωρισμός σε τέσσερις DMAs, σύμφωνα με την ηλικία του νερού της αρχικής κατάστασης. Παρακάτω στην εικόνα βλέπουμε με χρωματική ανάλυση τις ηλικίες του νερού στους αγωγούς και τη διαφορά που εμφανίζει στις περιοχές.

Εικόνα 38 Σενάριο χωρισμού σε 4 DMAs. Ηλικιακή διαβάθμιση νερού.

Η διαδικασία διαχωρισμού έγινε με το κλείσιμο των αγωγών που συνδέουν τις δύο περιοχές δηλαδή εικονικά τοποθετώντας βαλβίδες αποκλεισμού και θέτοντάς τες σε λειτουργία υδραυλικού αποκλεισμού. Η συγκεκριμένη διαδικασία οδήγησε στην μεταβολή του μέσου όρου της ηλικίας, ενώ αντίθετα η μέση τιμή της πίεσης παρέμεινε σχεδόν ίδια.

Ειδικότερα, ο μέσος όρος ηλικίας μειώθηκε περισσότερο από 4 ώρες και διαμορφώθηκε ίσος με 71,7 ώρες για ανάλυση 336 ωρών, ενώ η μέση τιμής της πίεσης διαμορφώθηκε ίση 339 kPa, δηλαδή δεν υπήρξε ουσιαστική μεταβολή σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση.

Παρατηρήθηκε ότι η μείωση της ηλικίας σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση ήταν ελάχιστη (75,1 ώρες αντί για 75,4), ενώ η πίεση των κόμβων παρέμεινε σχεδόν σταθερή (339 kPa αντί για 340kPa) και ίση με το σενάριο χωρισμού σε 2 υποζώνες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 39 Σενάριο 3ο -Κλειστοί αγωγοί και διαχωρισμός σε τέσσερις DMAs

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται οι αγωγοί που τίθενται εκτός λειτουργίας προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο χωρισμός του δικτύου. Αρχικά πραγματοποιήθηκε αυστηρός διαχωρισμός των DMAs, δηλαδή υπήρχε μία είσοδος και μία έξοδος σε κάθε υποζώνη, αλλά παρατηρήθηκαν αρκετά χαμηλές πιέσεις και προβλήματα εξυπηρέτησης της κατανάλωσης στην περιοχή που χαρακτηρίζεται κρίσιμη όσον αφορά την ηλικία και φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Επομένως ορίστηκαν μία είσοδος και δύο έξοδοι σε κάθε υπόζωνη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 40 Σενάριο 3ο. - Περιοχή με τις μεγαλύτερες ηλικίες. (Βελτιωμένη κατάσταση από την αρχική, δυσμενέστερη από τον χωρισμό σε 2 DMAs)

Οι κρίσιμοι κόμβοι πίεσης κάθε υποζώνης φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

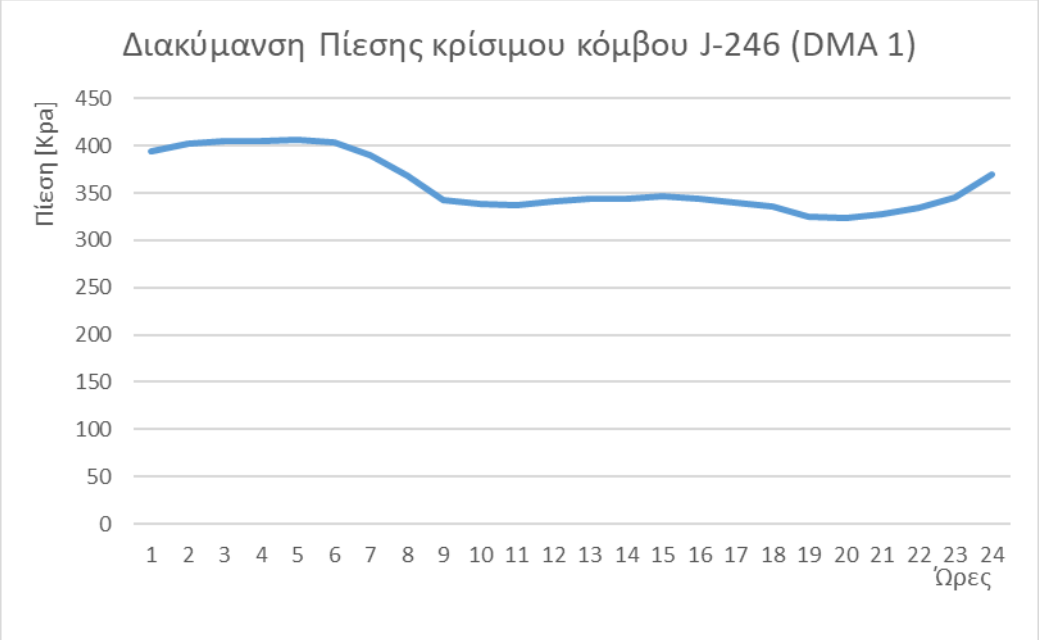
Εικόνα 41 Σενάριο χωρισμού σε 4 DMAs. Εντοπισμός των κρίσιμων κόμβων ανά DMA

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

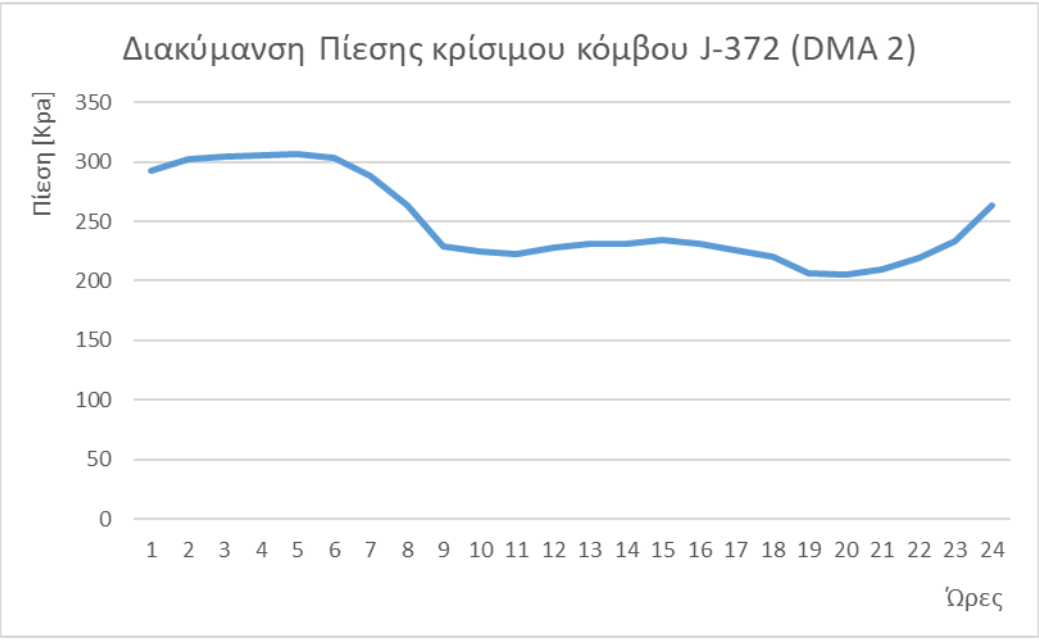
Συγκεκριμένα ο κρίσιμος κόμβος κάθε υπο-περιοχής είναι:

- J-246 στην πρώτη υποζώνη
- J-372 στην δεύτερη υποζώνη
- J-555 στην τρίτη υποζώνη
- J-163 στην τέταρτη υποζώνη

Οι συγκεκριμένοι κόμβοι ήταν κρίσιμοι για κάθε υποζώνη όλο το 24ωρο. Ακολουθούν διαγράμματα που απεικονίζεται η την διακύμανση της πίεσης των κρίσιμων κόμβων.

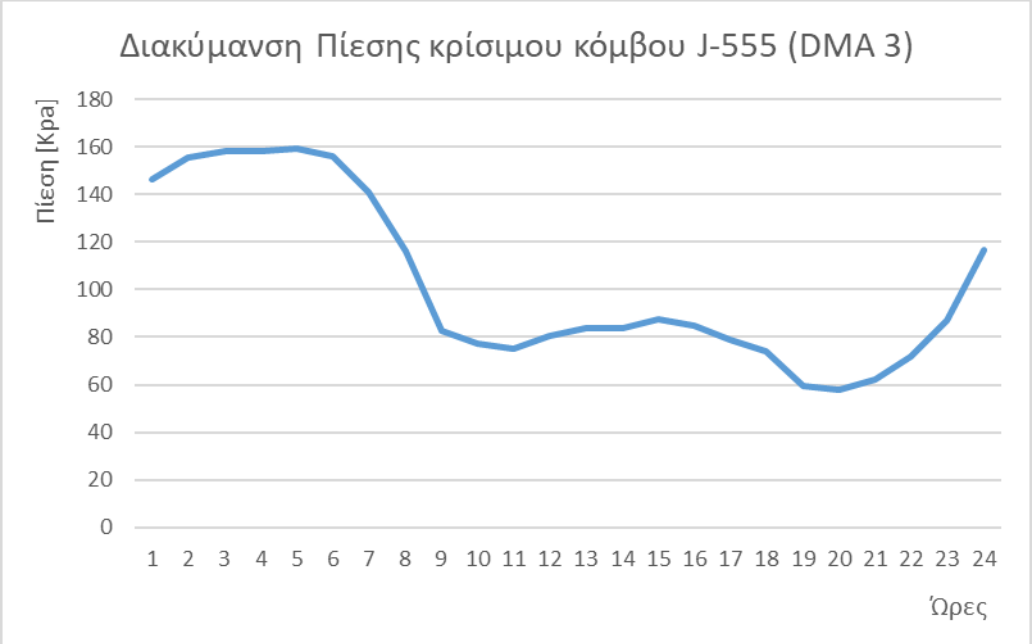


Γράφημα 31 Σενάριο 3ο-4 DMAs. Κρίσιμη πίεση για 24 ώρες στην πρώτη DMA



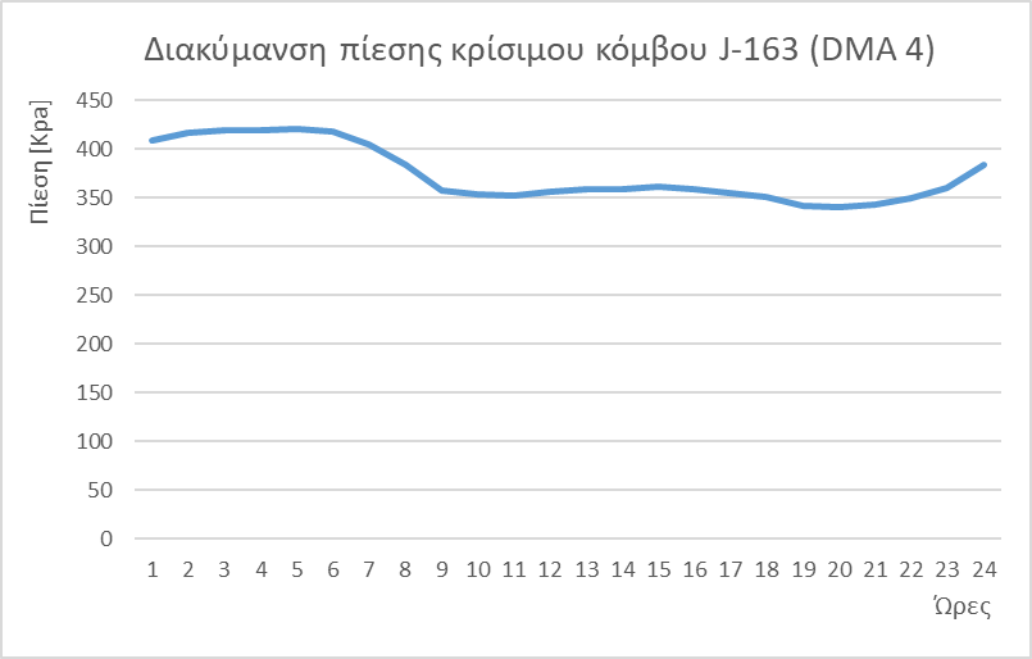
Γράφημα 32 Σενάριο 3ο - 4 DMAs. Κρίσιμη πίεση 24 ώρες στη δεύτερη DMA

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 33 Σενάριο 3ο - 4 DMAs. Κρίσιμη πίεση στην τρίτη DMA

Τονίζεται ότι στην DMA 3 ο J-555 αποτελεί τον κρίσιμο κόμβο για όλο το 24ωρο, όμως υπάρχουν άλλοι τέσσερις κόμβοι, οι οποίοι παρουσιάζουν αντίστοιχη πίεση στις 3:00.



Γράφημα 34 Σενάριο 3ο -4 DMAs. Κρίσιμη πίεση στην τέταρτη DMA

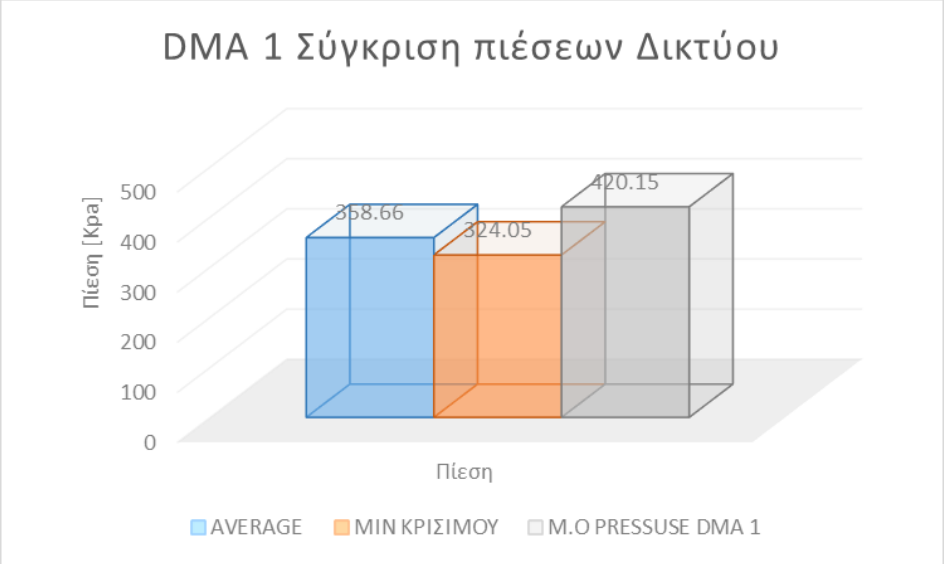
Παρατηρείται ότι σ' όλες τις υποζώνες η πίεση είναι μεγαλύτερη από το κατώτατο όριο του κανονισμού δικτύων ύδρευσης, πλην όμως στην τρίτη υποζώνη παρουσιάζονται χαμηλότερες πιέσεις και ιδιαίτερα στην περιοχή που η ηλικία είναι μεγάλη. Το τελευταίο έρχεται σε πλήρη συνάρτηση με τα ευρήματα των προηγούμενων σεναρίων και της αρχικής κατάστασης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

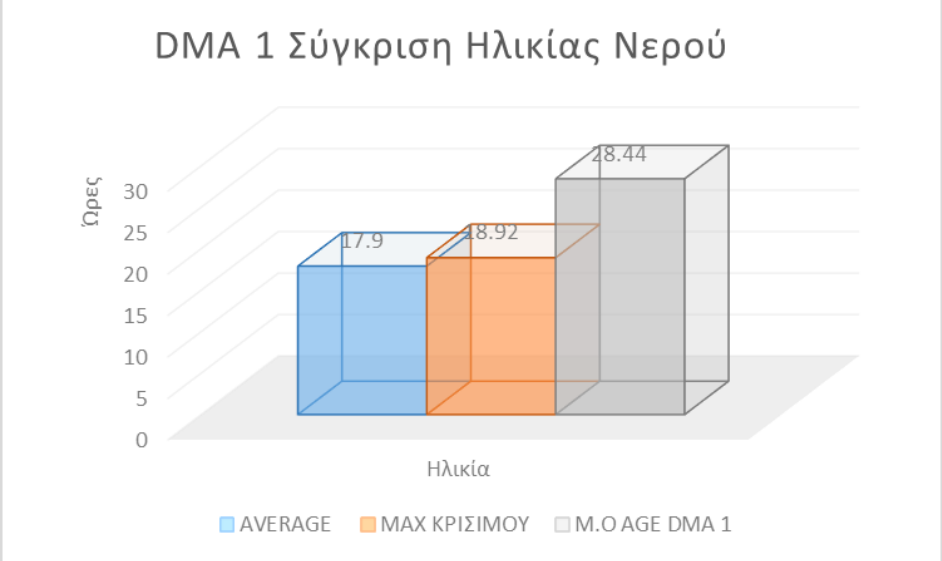
Πίνακας 19 Σενάριο 3 – 4 DMAs. Πίεση και ηλικία νερού στους κρίσιμους κόμβους

DMA	Αρίθμηση Κόμβου	ΠΙΕΣΗ [kPa]		ΗΛΙΚΙΑ [hours]	
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΡΙΣΙΜΟΥ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΡΙΣΙΜΟΥ
1	246	358	324	18	19
2	372	249	205	101	137
3	555	102	58	168	336
4	163	374	339	18	19

Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα που συγκρίνουν τη πίεση και την ηλικία των κρίσιμων κόμβων σε σχέση με τον μέσο όρο που διαμορφώνεται σε κάθε DMA.

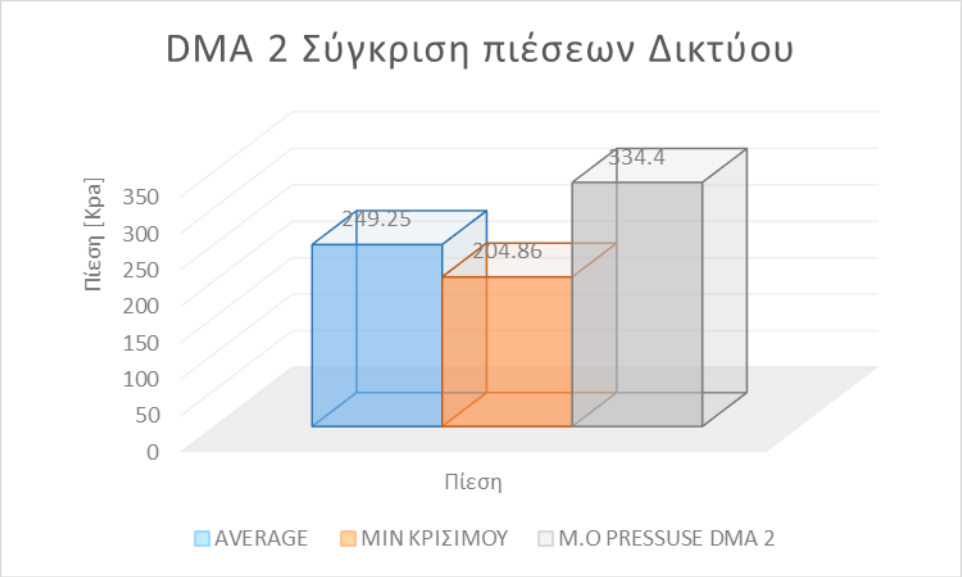


Γράφημα 35 Σενάριο 3ο. Σύγκριση πιέσεων δικτύου στην DMA 1

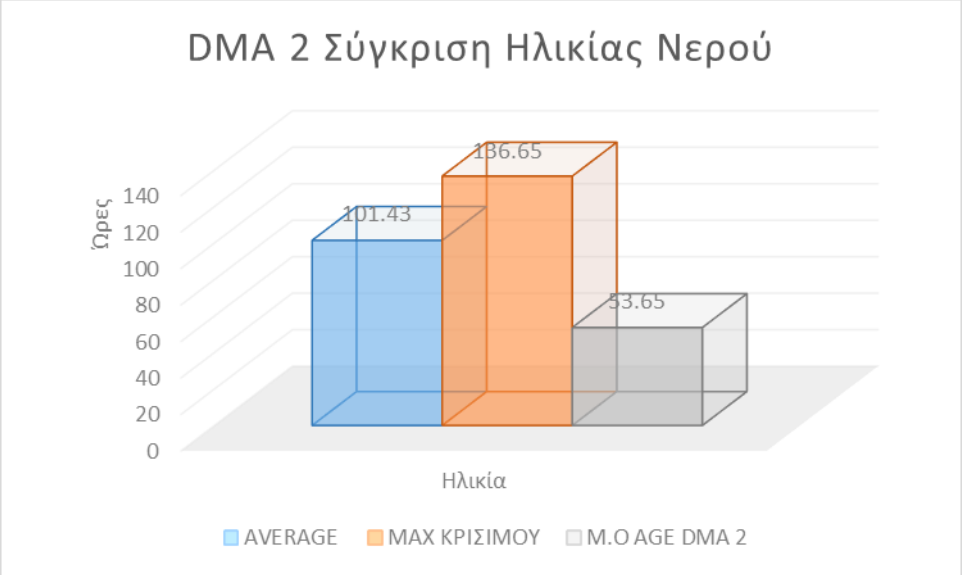


Γράφημα 36 Σενάριο 3ο. Σύγκριση ηλικίας νερού στην DMA 1

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

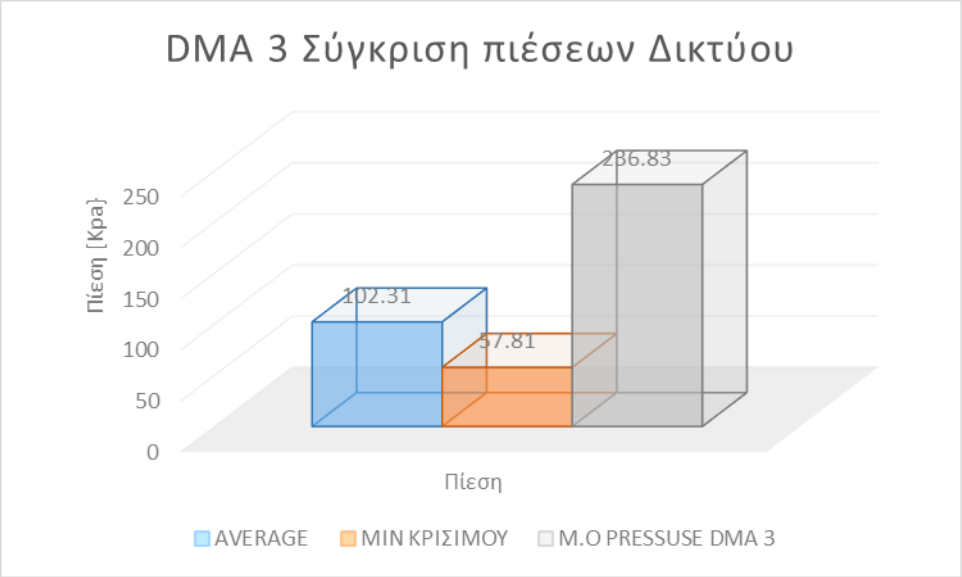


Γράφημα 37 Σενάριο 3ο. Σύγκριση πιέσεων δικτύου στην DMA 2

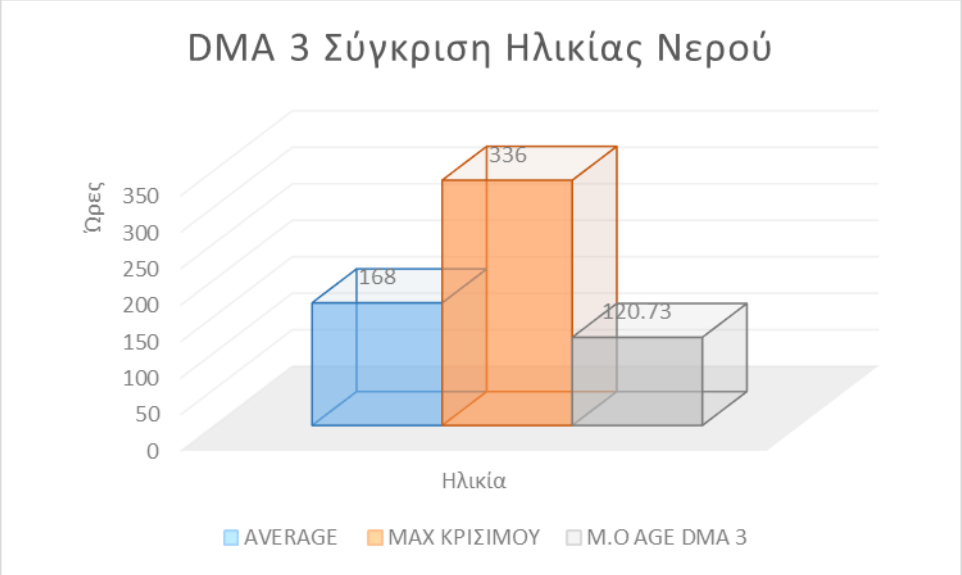


Γράφημα 38 Σενάριο 3ο. Σύγκριση ηλικίας νερού δικτύου στην DMA 2

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

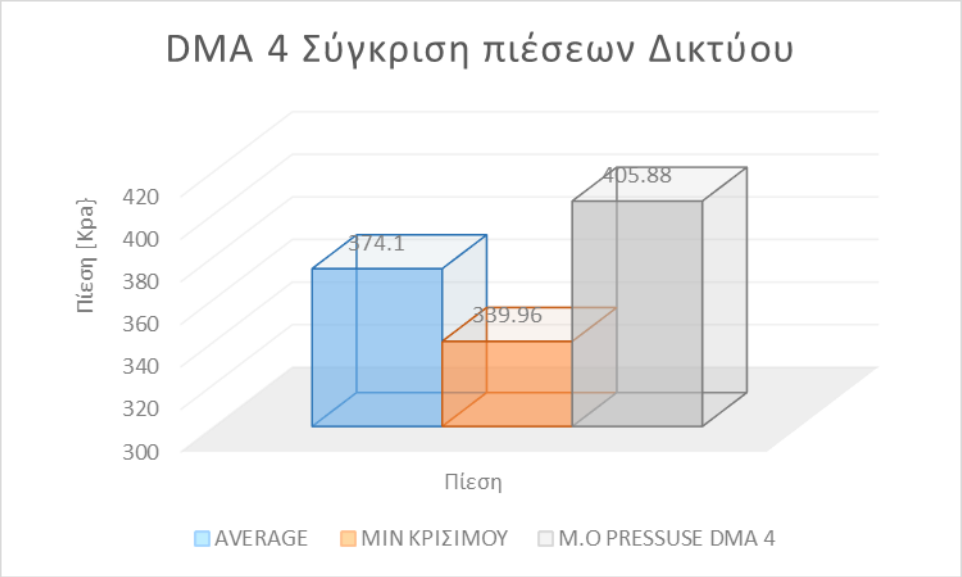


Γράφημα 39 Σενάριο 3ο. Σύγκριση πιέσεων δικτύου στην DMA 3

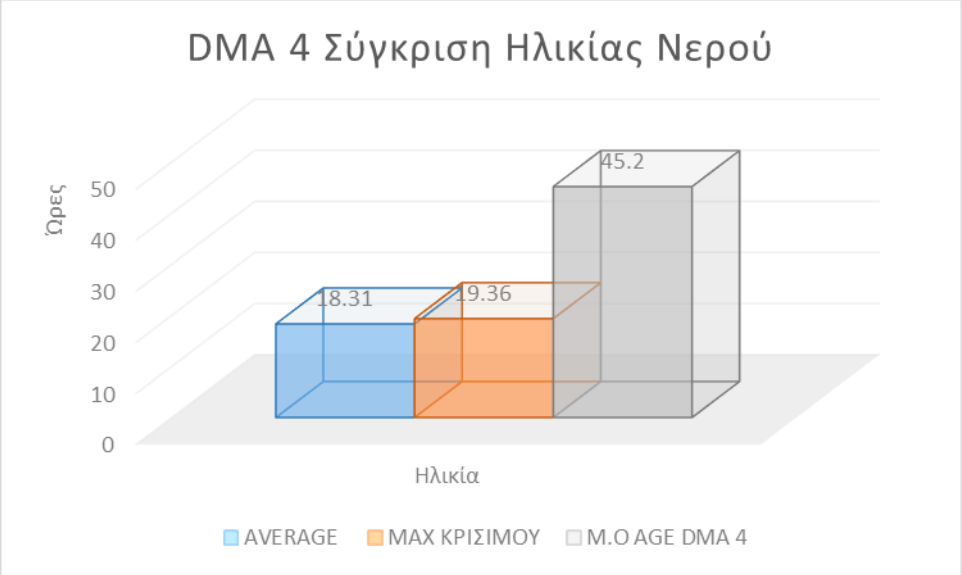


Γράφημα 40 Σενάριο 3ο. Σύγκριση νερού δικτύου στην DMA 3

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 41 Σενάριο 3ο. Σύγκριση πιέσεων δικτύου στην DMA 4



Γράφημα 42 Σενάριο 3ο. Σύγκριση ηλικίας νερού δικτύου στην DMA 4

Το 3ο σενάριο μελέτης της περιοχής προφανώς δεν είχε σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το δεύτερο, αφού ενώ ο χωρισμός σε μικρότερες στεγανές υποζώνες μας έδωσε καλύτερη παρατήρηση των δεδομένων και των υδραυλικών συμπεριφορών, τελικά η ηλικία οριακά επιδεινώθηκε ενώ η πίεση δεν γνώρισε καμία βελτίωση. Ένα πλεονέκτημα που όμως δεν απορρίπτουμε μέσα από την πιο αναλυτική μελέτη του μοντέλου είναι ότι καταφέραμε και περιορίσαμε πολύ την περιοχή που παρουσιάζει χαμηλή πίεση και μεγάλη ηλικία νερού. Έτσι έγινε πολύ πιο εύκολη η αντίδραση στο πρόβλημα και η διερεύνηση προτάσεων που θα μας δώσουν λύσεις. Στα πλαίσια του παρόντος διδακτορικού αλλά όχι με μεγάλη έκταση, η παρουσίαση λύσεων καθώς και η μελέτη αυτών με αποτελέσματα από το ψηφιακό δίδυμο, είναι απόλυτα θεμιτή για να δώσει κλίμακα μεγέθους στην αξία του.

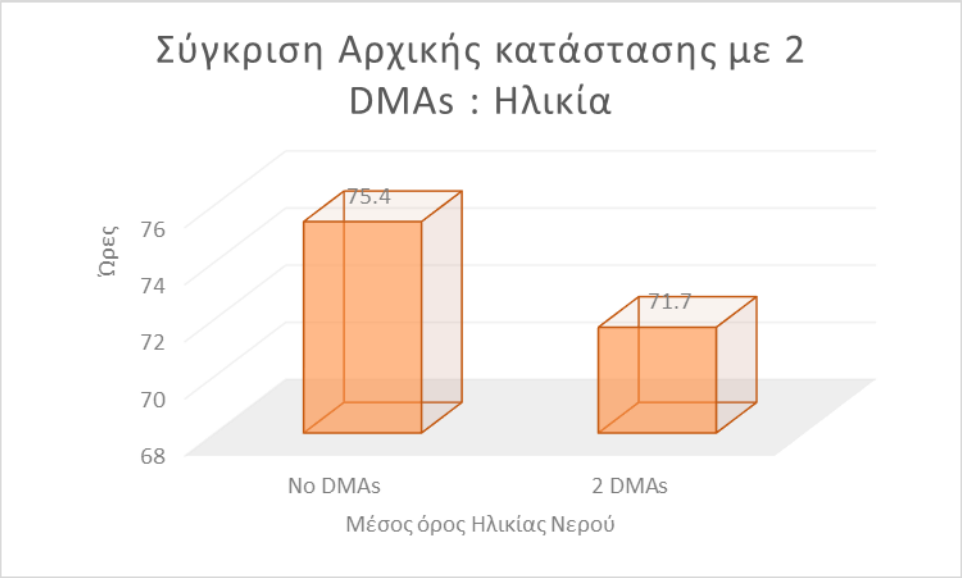
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.3.4. Αντιμετώπιση προβλημάτων στο δίκτυο - Πρόταση λύσεων και κόστους

Σ' αυτή την ενότητα προτείνονται κάποιες μέθοδοι επίλυσης των προβλημάτων που εντοπίστηκαν στο δίκτυο. Η διαδικασία περιλαμβάνει τρία στάδια. Αρχικά επιλέγεται ο κατάλληλος διαχωρισμός του δικτύου σε υποζώνες. Στην συνέχεια με βασικό άξονα τη μείωση της ηλικίας στην προβληματική περιοχή που εντοπίστηκε, αλλά και την αύξηση της πίεσης σ' αυτήν θα προταθεί μια διαφοροποίηση του δικτύου. Θα τοποθετηθούν σε δύο σημεία βαλβίδες μείωσης πίεσης (PRVs), προκειμένου να μειωθούν οι υψηλές τιμές πίεσης κατάντη αυτών που θα οδηγήσει στην μείωση του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο, μέσω της μείωσης της συνολικής ζήτησης.

7.3.5. 1ο Στάδιο : Επιλογή κατάλληλου χωρισμού σε στεγανές μετρούμενες υποζώνες (DMAs)

Διερευνώντας και αναλύοντας τα παραπάνω, το δίκτυο πρέπει να χωριστεί σε δύο DMAs, αφού μέσω αυτού του σεναρίου επιτυγχάνεται μείωση της ηλικίας του νερού σε ποσοστό 5% της αρχικής κατάστασης και συγκεκριμένα μείωση κατά 4,3 ώρες, ενώ ταυτόχρονα η πίεση στο δίκτυο παραμένει σταθερή.



Γράφημα 43 Σύγκριση ηλικίας νερού. Αρχικής κατάστασης - κατάστασης μετά τον διαχωρισμό σε 2 DMAs

Παρότι η μέση πίεση στο δίκτυο παραμένει σταθερή στα 340 kPa, συνεχίζουν να υφίστανται χαμηλές πιέσεις στο ανατολικό τμήμα του. Επομένως απαιτείται μεγαλύτερη διερεύνηση με σκοπό την επίτευξη υψηλότερων πιέσεων στην συγκεκριμένη περιοχή, ενώ ταυτόχρονα η τιμή της ηλικίας του νερού θα προκύπτει μειωμένη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.3.6. 2ο Στάδιο : Τρίτο σημείο εισόδου νερού με προσθήκη νέου αγωγού από την Οδό Αλκίπης

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, μία πρόταση για την βελτίωση της ηλικίας νερού αποτελεί η πολλαπλή εισόδος νερού σε μία περιοχή. Στην παρούσα συνθήκη, η τροφοδότηση του δικτύου γίνεται μέσω των οδών Αγίου Δημητρίου και Ορμινίου.

Η προσθήκη ενός αγωγού που θα οδηγεί το νερό από την είσοδο της Ορμινίου σ' ένα πιο κοντινό σημείο της προβληματικής περιοχής θα βελτιώσει την λειτουργία του δικτύου τόσο από πλευράς πίεσης όσο και ηλικίας νερού. Η απευθείας τροφοδότηση της προβληματικής περιοχής επιλέχθηκε να γίνει από την οδό Αλκίπης, μιας κεντρικής οδού που διέρχεται ήδη ένας αγωγός μεγάλης διατομής (Φ200). Λαμβάνοντας υπόψιν την ονομαστική διάμετρο των υπόλοιπων αγωγών μεταφοράς του δικτύου, ο νέος αγωγός που τοποθετήθηκε (εικόνα 42) είναι ονομαστικής διαμέτρου Φ300 και η νέα είσοδος τοποθετήθηκε στο πέρας του αγωγού. Στην συνέχεια διερευνήθηκε η συμπεριφορά του δικτύου με την νέα διάταξη.

Εικόνα 42 Νέα Είσοδος, βελτιωμένη ανταπόκριση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

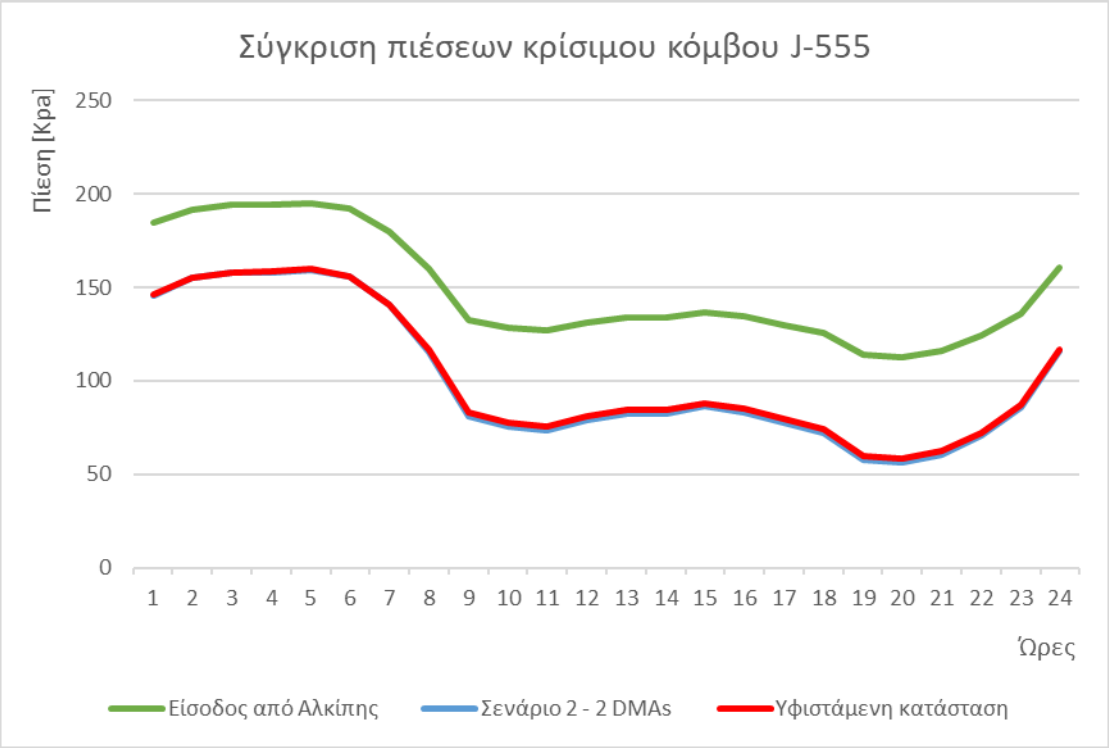
Εικόνα 43 Μετατροπή του αγωγού και κρίσιμοι κόμβοι

Με την συγκεκριμένη αλλαγή, όπως επίσης και με τον χωρισμό του δικτύου σε δύο ζώνες, η ηλικία του νερού μειώθηκε σε ποσοστό 20% της αρχικής κατάστασης (διαμορφώθηκε ίση με 61,5 ώρες), ενώ ταυτόχρονα ο μέσος όρος της πίεσης στον κρίσιμο κόμβο αυξήθηκε σε ποσοστό 31% της αρχικής κατάστασης (διαμορφώθηκε ίση με 148,7 kPa).

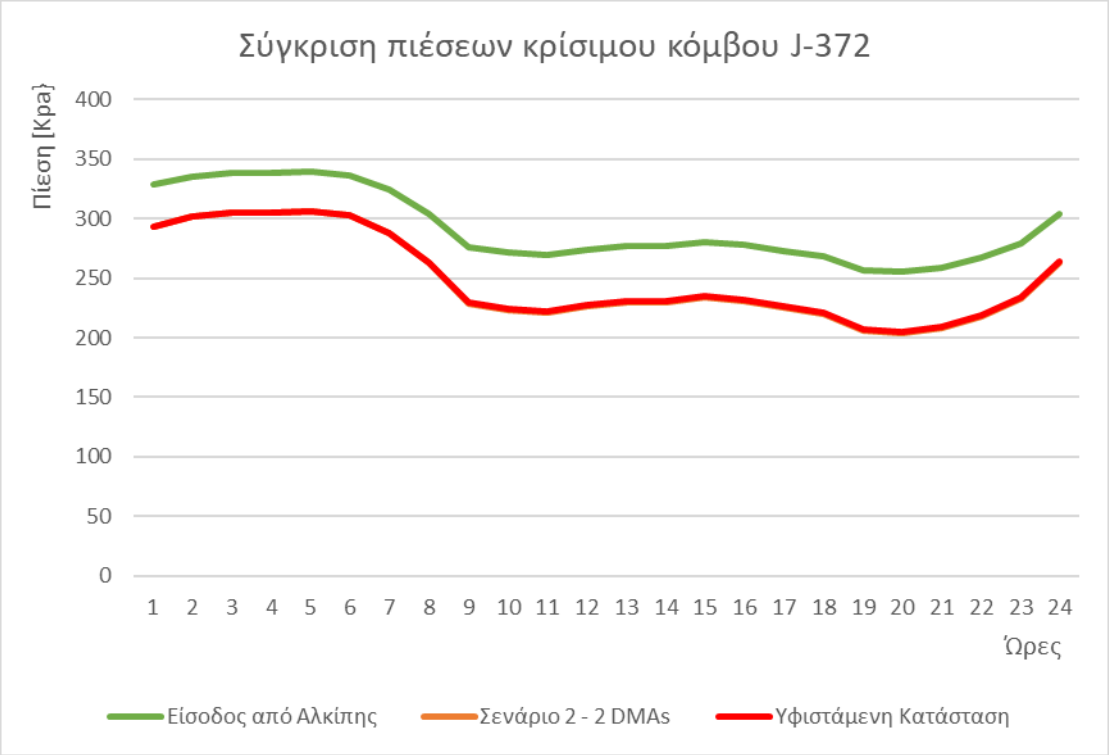
Εικόνα 44 Χρήση της οδού Αλκίπης ως είσοδο και κρίσιμες περιοχές

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η ανατολική της Νέας Δημητριάδας παραμένει η κρίσιμη περιοχή, εντούτοις οι τιμές της πίεσης και της ηλικίας είναι βελτιωμένες. Ακόμη, παρατηρήθηκαν στο κέντρο της Νέας Δημητριάδας αυξημένες τιμές της ηλικίας του νερού.

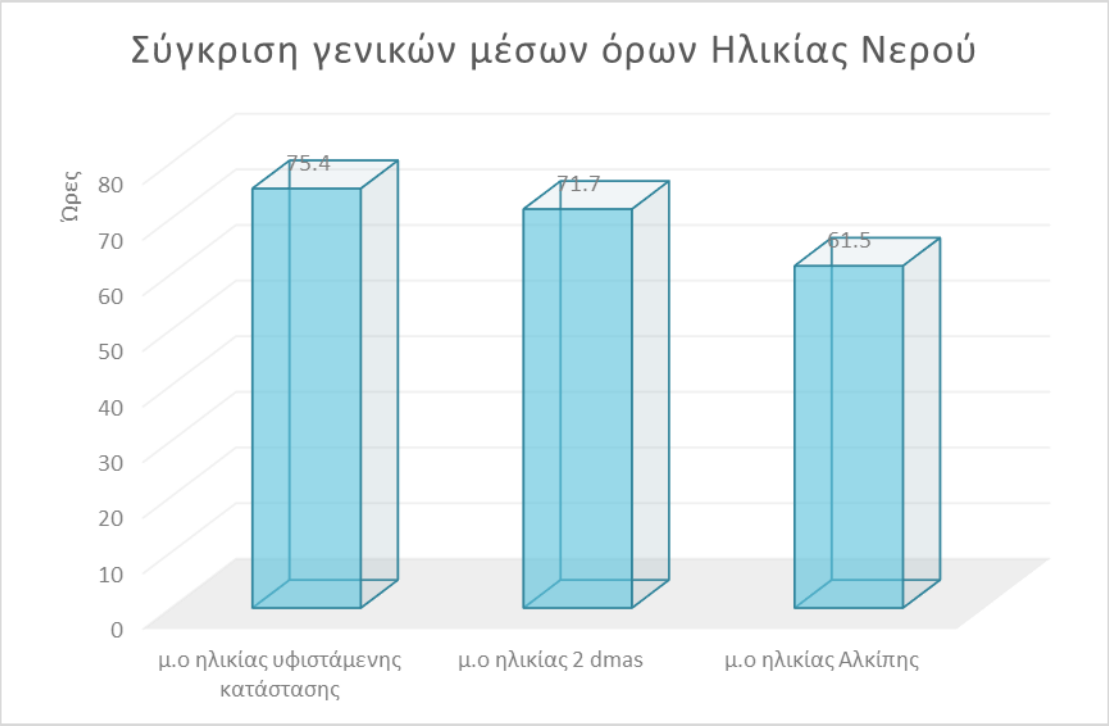


Γράφημα 44 Σύγκριση των πιέσεων του κρίσιμου κόμβου J-555 για κάθε περίπτωση (DMA 1)

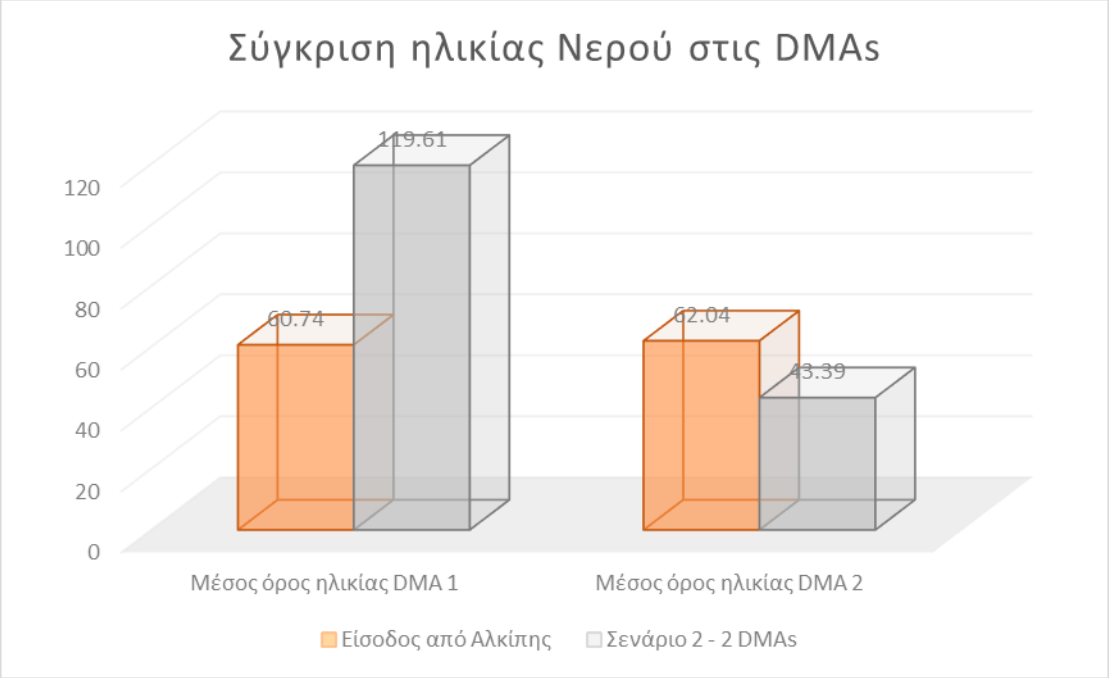


Γράφημα 45 Σύγκριση των πιέσεων του κρίσιμου κόμβου J-372 για κάθε περίπτωση (DMA 2)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 46 Σύγκριση γενικών μέσων όρων ηλικίας νερού



Γράφημα 47 Σύγκριση ηλικίας νερού και στις 2 DMAs

7.3.7. 3ο Στάδιο: Εγκατάσταση PRVs στο τροποποιημένο δίκτυο

Στο συγκεκριμένο στάδιο γίνεται εκτίμηση των περιοχών που παρουσιάζουν αυξημένες τιμές πίεσης. Βαλβίδες μείωσής της επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν στους αγωγούς με τις μεγαλύτερες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

διατομές και κεντροαξονικής θέσης, έτσι ώστε να μειωθεί η πίεση στο εισερχόμενο νερό, ελέγχοντας την τιμή της πίεσης στον κόμβο τοποθέτησης.

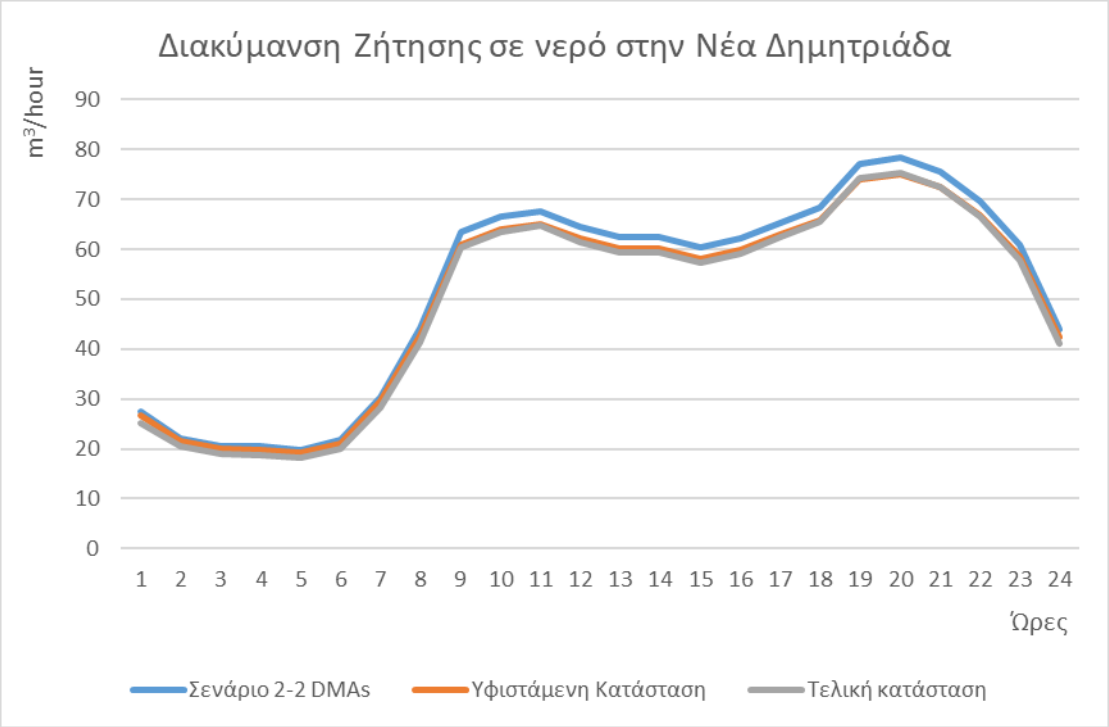
Εικόνα 45 Τοποθέτηση PRV-s

Η PRV-1 ρυθμίστηκε έτσι ώστε η πίεση λειτουργίας κατάντη να ισούται με 200 kPa (ελάχιστο επιτρεπτό όριο από τον κανονισμό), διότι λόγω της βαρυτικής διαμόρφωσης του δικτύου, το νερό κατάντη, προχωρούσε σε χαμηλότερα υψόμετρα και η πίεση αυξανόταν.

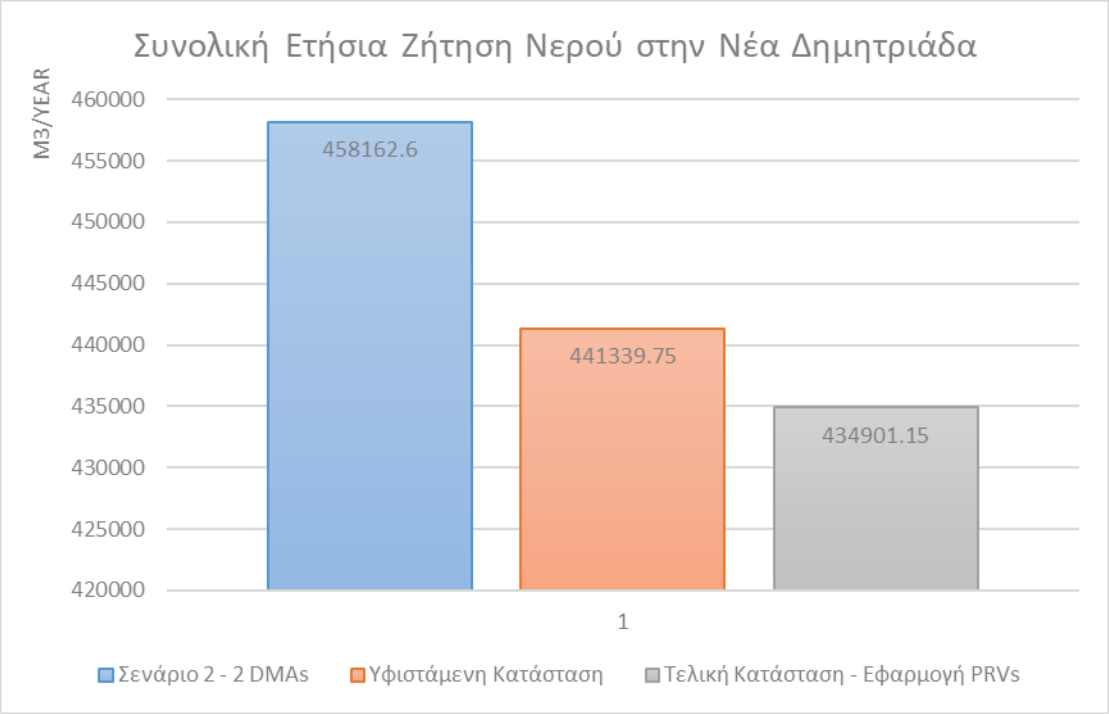
Η PRV-7 ρυθμίστηκε έτσι ώστε η λειτουργία κατάντη να ισούται με 370 kPa, διότι σε χαμηλότερες τιμές ο κρίσιμος κόμβος δεν εμφάνιζε επαρκή πίεση.

Με βάση τις παραπάνω αλλαγές, η συνολική πίεση του δικτύου μειώθηκε και διαμορφώθηκε ίση με 328kPa (στην αρχική κατάσταση ήταν 340kPa). Αυτό είναι αρκετά λογικό από την στιγμή που έχουμε επίλυση με ζήτηση εξαρτώμενη της πίεσης (Pressure Dependent Demand). Επομένως θα πρέπει να μειωθεί ο όγκος του νερού που μεταφέρεται έως το σημείο εισόδου του έτσι ώστε το έργο να είναι ανταποδοτικό.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



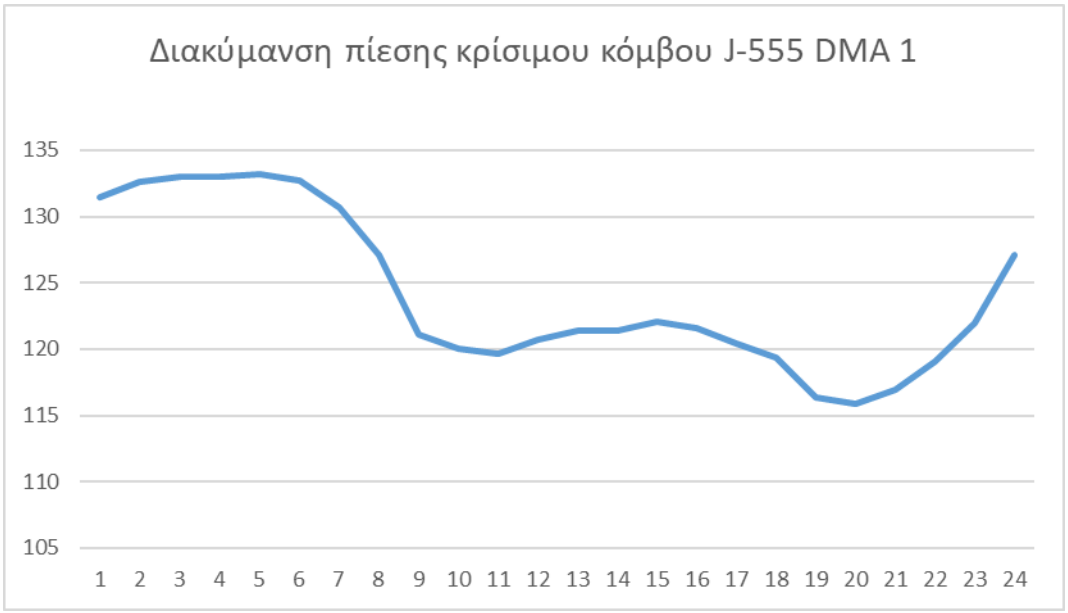
Γράφημα 48 Διακύμανση ζήτησης σε νερό



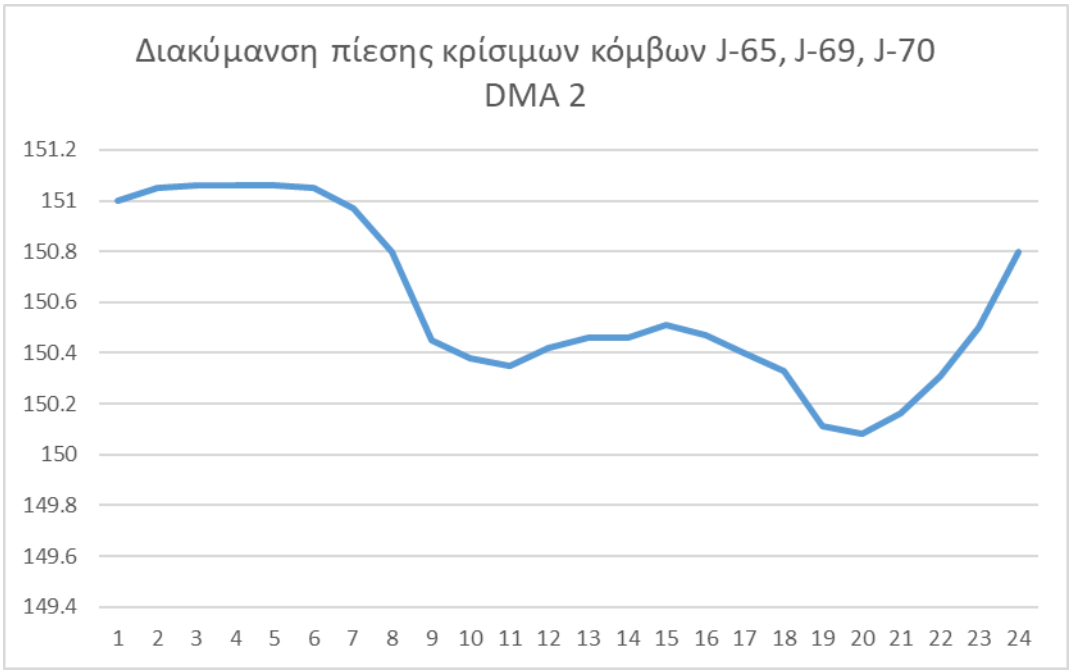
Γράφημα 49 Ζήτηση του Νερού σε ετήσια βάση

Λόγω της τοποθέτησης της πρώτης βαλβίδας, οι κρίσιμοι κόμβοι της υποζώνης 2 διαφοροποιήθηκαν. Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα διακύμανσης της πίεσής τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 50 Διακύμανση πίεσης στον κρίσιμο κόμβο J-555



Γράφημα 51 Διακύμανση της πίεσης των κρίσιμων κόμβων στη δεύτερη υποζώνη

7.3.8. 4ο Στάδιο: Προσθήκη PRVs στο τροποποιημένο δίκτυο

Στην συνέχεια εξετάζεται η απόκριση του δικτύου με την προσθήκη τριών PRVs. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται απομόνωση μικρότερων περιοχών με την τοποθέτηση σχετικής βαλβίδας στην είσοδό τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 46 Θέση βαλβίδων απομείωσης της πίεσης

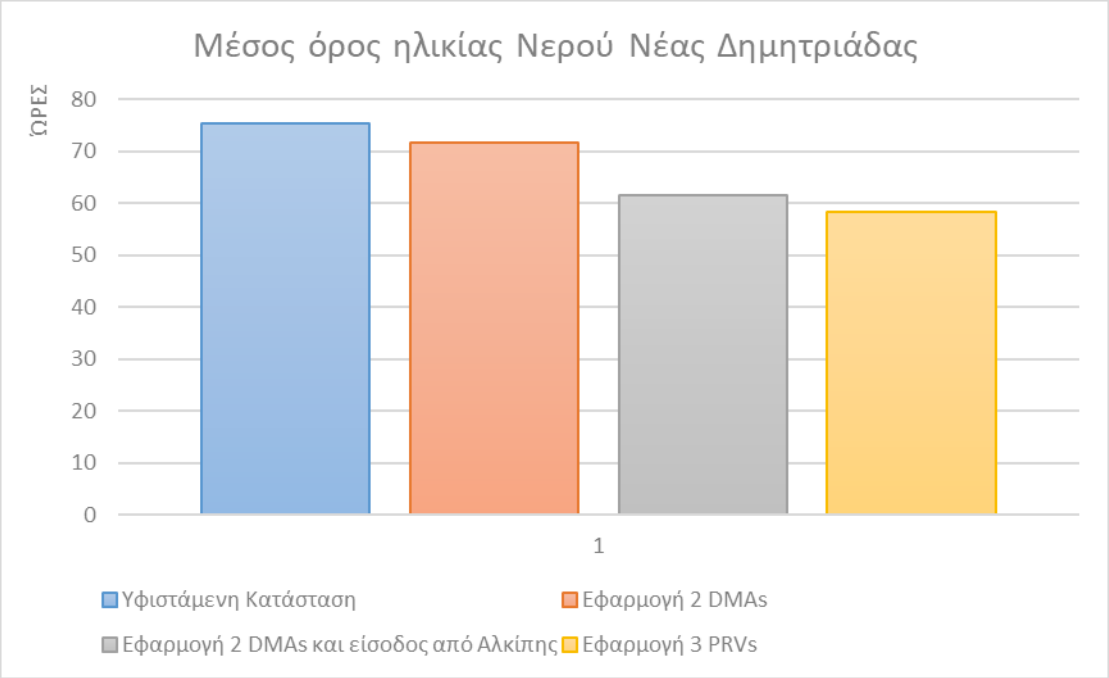
Προκειμένου να διατηρηθεί μία είσοδος στις περιοχές αυτές και για να έχει νόημα η τοποθέτηση των βαλβίδων απομόνωσης έκλεισαν ορισμένοι αγωγοί που βρίσκονται περιμετρικά των μικρών περιοχών. Οι αγωγοί που έκλεισαν (στο σύνολό τους 5) φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

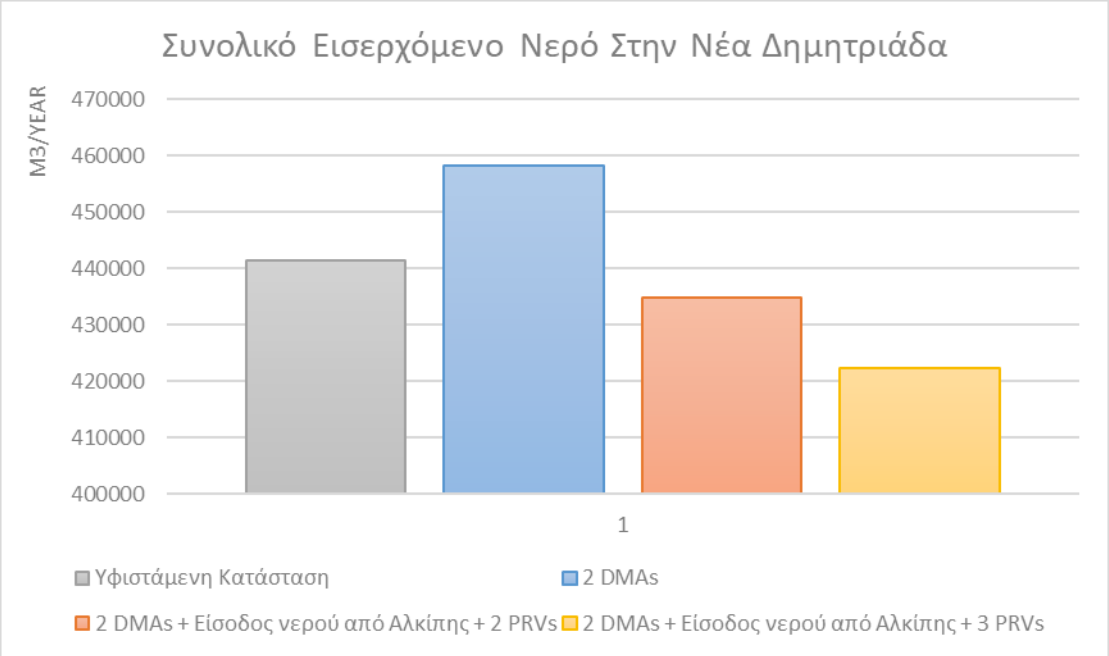
Εικόνα 47 Κλειστοί αγωγοί για την εφαρμογή βαλβίδων

Με τις συγκεκριμένες τροποποιήσεις, μειώθηκαν ταυτόχρονα ο συνολικός όγκος του εισερχόμενου νερού και η ηλικία. Συγκεκριμένα για ανάλυση 336 ωρών, η ηλικία του νερού διαμορφώθηκε ίση με 58,4 ώρες και ο συνολικός εισερχόμενος όγκος νερού στο σύστημα μειώθηκε σχεδόν 19.000 m^3 για το έτος 2015. Η μέση τιμή της πίεσης του δικτύου διαμορφώθηκε ίση με 336 kPa, δηλαδή αυξημένη σε σχέση με το σενάριο των 2 PRVs, αλλά παρατηρήθηκε ότι η συγκεκριμένη αύξηση συντελέστηκε στους κόμβους περιοχών που στην αρχική κατάσταση παρουσίαζαν πιέσεις χαμηλότερες από 200 kPa που αποτελεί το κατώτατο όριο του κανονισμού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

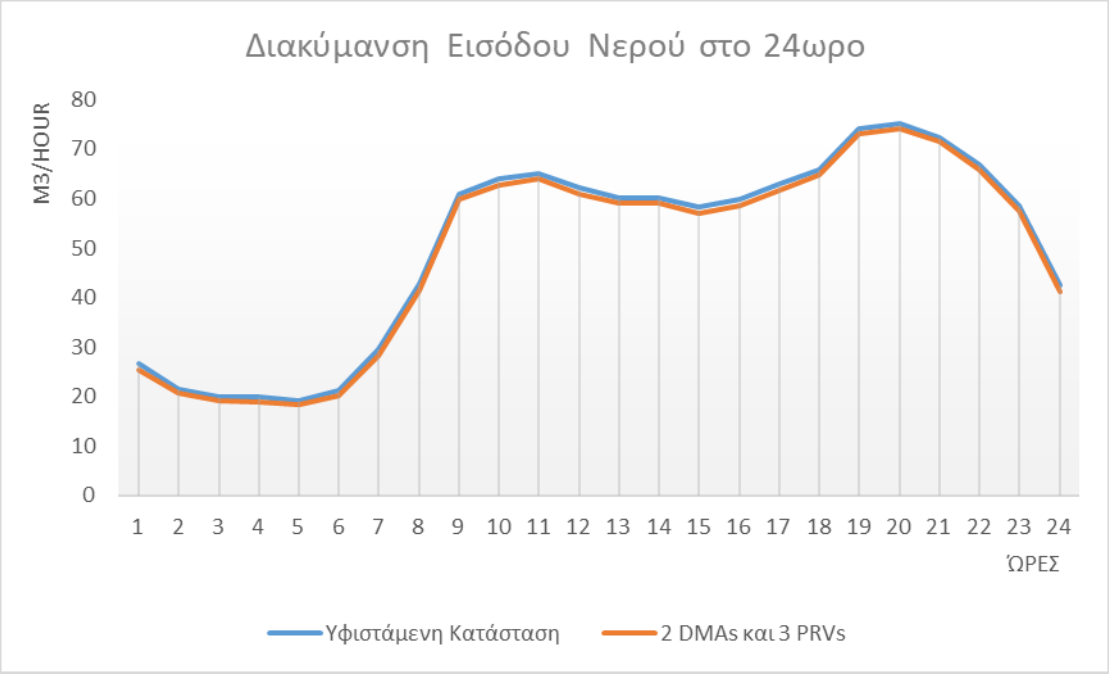


Γράφημα 52 Μέσος όρος ηλικίας Νερού

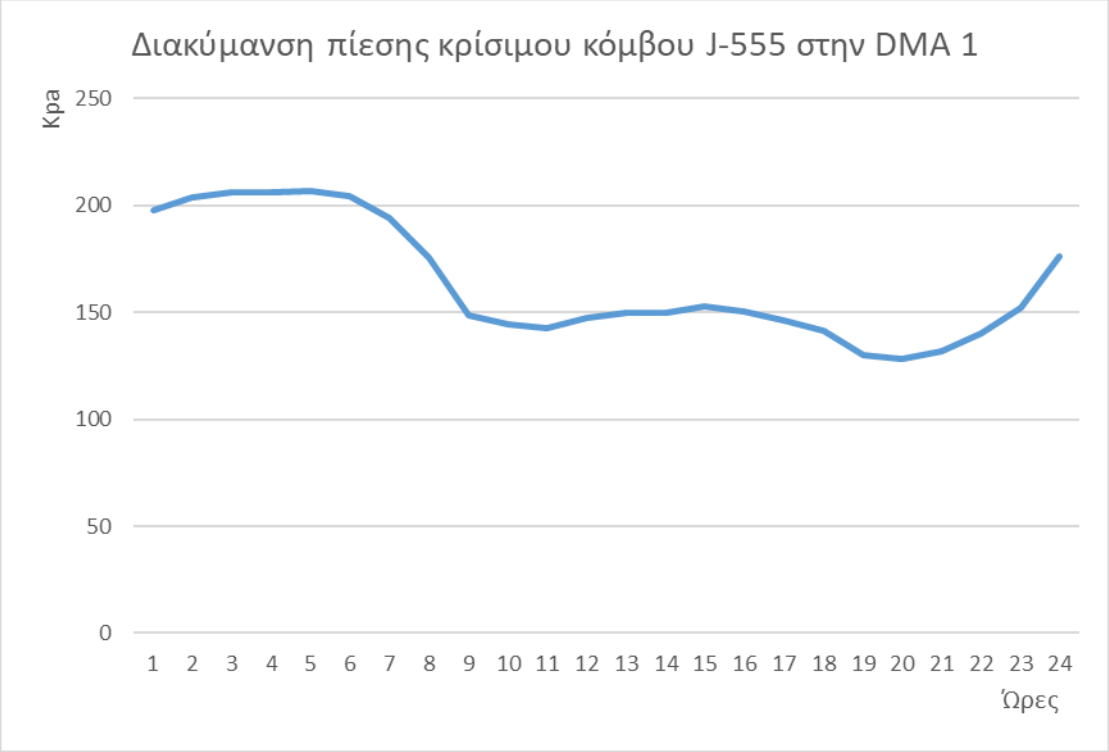


Γράφημα 53 Συνολικό εισερχόμενο νερό για κάθε περίπτωση

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 54 Διακύμανση Εισερχόμενου Νερού σε 24 ώρες για κάθε περίπτωση

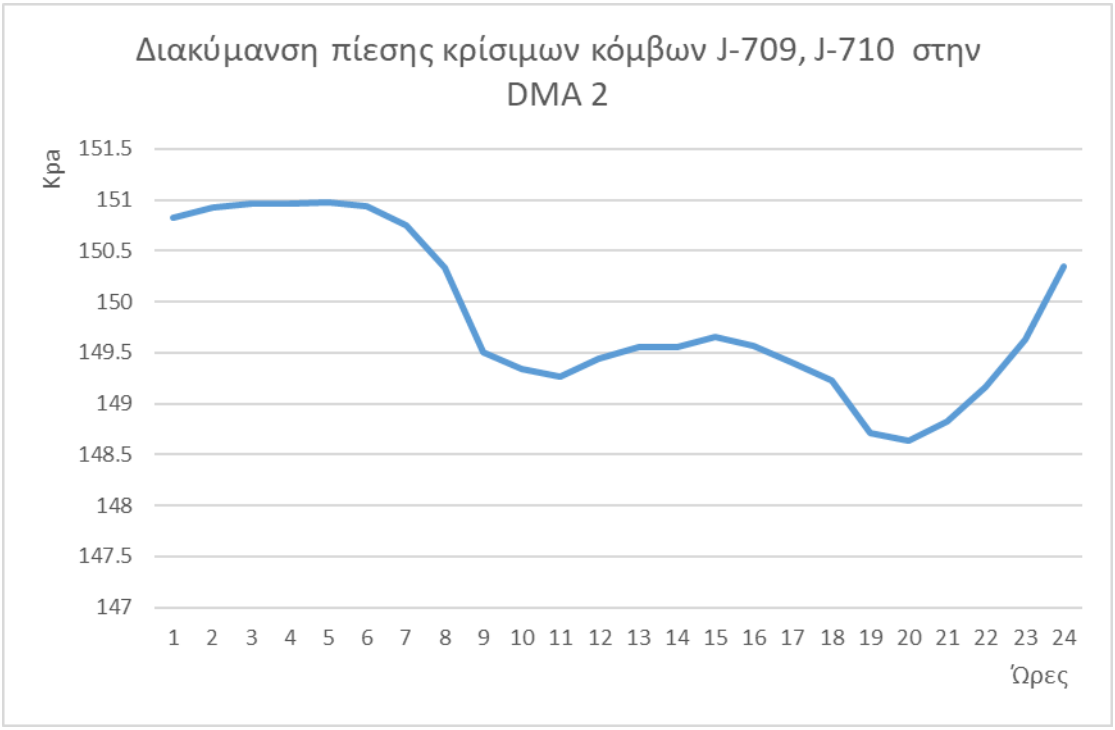


Γράφημα 55 Διακύμανση της πίεσης του κρίσιμου κόμβου J-555 σε 24 ώρες (DMA 1)

Στην DMA 2 οι κρίσιμοι κόμβοι είναι διαφορετικοί σε σχέση με το σενάριο των 2 PRVs, διότι έγινε οριοθέτηση ενός μικρού τμήματος αυτής, με στόχο να ρυθμιστεί η πίεση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 48 Κρίσιμοι κόμβοι (DMA 2)



Γράφημα 56 Διακύμανση της πίεσης των κρίσιμων κόμβων στην DMA 2

Συγκεντρωτικά το παράδειγμα μελέτης της Νέας Δημητριάδας έχει τα εξής σημεία που πρέπει να τονιστούν.

- Η ανάπτυξη ενός υδραυλικού ψηφιακού μοντέλου και η παραμετροποίησή του σε επίπεδο ψηφιακού διδύμου σου δίνει τη δυνατότητα πραγματικά να γνωρίσεις το δίκτυο σου σε βάθος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Οι τακτικές διαχείρισης των υποζωνών καθώς και της πίεσης επιφέρουν πολλές φορές αρνητικά αποτελέσματα στην ηλικία. Ωστόσο με έρευνα, λύση διαμερισμάτωσης μπορεί να βρεθεί και που να μην υποβαθμίζει την ποιότητα ή και να την αναβαθμίζει οριακά.
- Οι ζώνες που πάσχουν έντονα από φαινόμενα γήρανσης του νερού ή χαμηλών (ή και υψηλών) πιέσεων, πρέπει να αντιμετωπίζονται τοπικά ξεχωριστά από το υπόλοιπο δίκτυο.
- Η εξυπηρέτηση ενός δικτύου από μόνο μία είσοδο συνήθως λειτουργεί αντίθετα για τις περιοχές που βρίσκονται σε σειρά εξυπηρέτησης τελευταίες. Εδώ αποδείχθηκε άμεσα με την δεύτερη γραμμή υδροδότησης.
- Η ρύθμιση της πίεσης μειώνει το εισερχόμενο νερό στο σύστημα λόγω της μείωσης των απωλειών και των πιεσο-εξαρτώμενων χρήσεων. Όσο περισσότερο μειώνεται το εισερχόμενο νερό στο δίκτυο τόσο πιο πιθανό είναι να αυξηθεί η ηλικία του. Είναι καλό να γίνεται σε μία χρυσή τομή.

7.4. Η περίπτωση της πόλης της Κω

Το τέταρτο δίκτυο προς μελέτη είναι αυτό της Κω. Πόλη σημαντικού νησιού του Αιγαίου με πολύ παλιό δίκτυο και μεγάλη διακύμανση στις ανάγκες που καλείται να καλύψει. Η διακύμανση έντονη και στο πέρας της μέρας αλλά και πιο πολύ στην αλλαγή των εποχών λόγω του έντονου τουρισμού που διαθέτει το νησί κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Κω βασίζεται σε γεωτρήσεις και απαρτίζεται από το εξωτερικό υδραγωγείο, τις εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού, τις δεξαμενές αποθήκευσής του και το εσωτερικό δίκτυο διανομής. Όπως και στην περίπτωση της Νέας Δημητριάδος και εδώ έχουμε ένα βαρυτικό σύστημα, άρα απουσιάζουν και από εδώ τα αντλιοστάσια.

Από το συγκεκριμένο υδραγωγείο, προκύπτει εξυπηρέτηση περίπου 18.000 ατόμων μέσω 12.364 υδρομέτρων. Η περιοχή αυτή είναι άξια μελέτης καθώς τους θερινούς μήνες ο πληθυσμός του νησιού πολλαπλασιάζεται λόγω της αυξημένης τουριστικής κίνησης. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις το καλοκαίρι φτάνει σε σημείο να εξυπηρετεί περισσότερο από 50.000 επιπλέον εποχικούς καταναλωτές. Παράλληλα, στο συγκεκριμένο δίκτυο έχουν συνδεθεί μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες με κατανάλωση κάπου στα 1.000 m3/24 ώρες. Τους θερινούς μήνες, μια περίοδο αιχμής γι’ αυτό το νησί του Αιγαίου, η συνολική ζήτηση φτάνει στα 7.270 m^3/24ωρο, ενώ την χειμερινή περίοδο ανέρχεται στα 3.646 m^3/24ωρο.

7.4.1. Εκμετάλλευση Υδατικών Πόρων

Το δίκτυο ύδρευσης βασίζεται σε 22 γεωτρήσεις αλλά και στην πηγή της Βορίνας. Η δεξαμενή των Σφαγείων στηρίζεται σε 8 γεωτρήσεις, 5 τροφοδοτούν την υπερκείμενη, ενώ οι υπόλοιπες τροφοδοτούν την ιταλική. Η χωρητικότητα της δεξαμενής των Σφαγείων ισούται με 2.550m^3 και το υψόμετρο του πυθμένα ανέρχεται στα +52 μ. Η χωρητικότητα της Υπερκείμενης είναι 500m^3 και υψόμετρο του πυθμένα ανέρχεται +72 μ. Η Ιταλική με τις επεκτάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί (Ελληνικές δεξαμενές) έχει συνολική χωρητικότητα 1.800 m^3 και το υψόμετρο του πυθμένα ανέρχεται στα +51,70 μ. Οι ποσότητες νερού της πηγής Βορίνας μεταφέρονται σε φρεάτιο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

φόρτισης και από εκεί υπό πίεση φτάνουν στην Υπερκείμενη δεξαμενή και μέσω υπερχείλισης τροφοδοτείται η Ιταλική. Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεωτρήσεις, η αντλούμενη ποσότητα νερού που κάθε μίας, όπως επίσης και η δεξαμενή που τροφοδοτούν.

Πίνακας 20 Γεωτρήσεις, Ετήσιος όγκος άντλησης και δεξαμενές που καταλήγει κάθε γεώτρηση (Μακρής, 2013)

Ονομασία Γεώτρησης	Αντλούμενο Νερό (m^3)	Ονομασία Δεξαμενής
Μύλοι 1	146790	ΕΛΛΗΝΙΚΗ
Μύλοι 2	188155	
Μύλοι 3	41250	
Μύλοι 4	364200	
Πλατύ Κυπαρίσσι No1	246525	
Πλατύ Κυπαρίσσι No2	166940	
Πλατύ Κυπαρίσσι No3	174425	
Λαγκάδα	152140	ΙΤΑΛΙΚΗ
Μυλωνάς	114277,5	
Αμυγδαλώνας	51765	ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ
Παναγίτσα	153555	
Πεταλά	38205	
Αμπάβρης No1	92150	
Αμπάβρης No2	201740	
Φωκάλια No1	153855	ΣΦΑΓΕΙΑ
Φωκάλια No2	31920	
Φωκάλια No3	262935	
Φωκάλια No4	216780	
Πελαργός No1	2047,5	
Πελαργός No2	131462,5	
Πελαργός No3	83237,5	
Σφαγεία	119562,5	

7.4.2. Δίκτυο Μεταφοράς και Διανομής

Το συνολικό μήκος των αγωγών του δικτύου υπολογίζεται στα 64.117 μέτρα και αποτελείται από το δίκτυο μεταφοράς (μήκους 15.836,9 μέτρων), το δίκτυο διανομής (μήκους 25.710,9 μέτρων) και τις οικιακές συνδέσεις (μήκους 22.569,2 μέτρων) (Κράββαρη 2017). Σχετικά με τα υλικά των αγωγών το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από PVC και αμιαντοτσιμέντο, ενώ ένα μικρό μέρος αυτών είναι κατασκευασμένοι από χυτοσίδηρο και χάλυβα. Ειδικότερα το μήκος των αγωγών PVC ανέρχεται στα 30.412m, των αγωγών αμιαντοτσιμέντου στα 20.452m, των χυτοσίδηρων αγωγών στα 12.178m και των χαλυβδοσωλήνων στα 1075m. Σύμφωνα με τους γενικούς κανονισμούς χάραξης, για τις διαμέτρους των αγωγών αναφέρεται ότι η ελάχιστη ονομαστική διάμετρος αυτών πρέπει να περιορίζεται στα 90 mm, και να αφορά μόνο τριτεύοντες αγωγούς. Παρ' όλα αυτά συναντώνται αγωγοί διαμέτρου έως και 70mm. Η αναφορά στην διάμετρο των αγωγών γίνεται καθώς έχει αποδειχτεί πως είναι στοιχείο που έχει τόσο οικονομική όσο και λειτουργική αξία. Έχει αποδειχτεί πως μια μικρή διάμετρος αγωγού δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο μιας και σχετίζεται με την εμφάνιση ή ανάδειξη τυχόν αστοχιών (Κανακούδης και Τσιτσιφλή).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.4.3. Τα προβλήματα στο εν λόγω δίκτυο

Κάποια βασικά προβλήματα που εντοπίζονται στο εν λόγω δίκτυο περιγράφονται παρακάτω:

- Μεγάλες βυθίσεις της πιεζομετρικής επιφάνειας τα διαστήματα που παρουσιάζεται μεγάλη ζήτηση νερού
- Κάποιες περιοχές, σχετικά απομακρυσμένες δεν υδροδοτούνται επαρκώς με αποτέλεσμα ορισμένοι καταναλωτές να μένουν χωρίς νερό
- Το παλιό δίκτυο παρουσιάζει ζητήματα ανεπάρκειας, ακόμα και σε τμήματα που βρίσκονται στο κέντρο της πόλης
- Παρουσιάζονται πολύ συχνά βλάβες και πολλές διαρροές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτει διαφορά της τάξης του 35% μεταξύ συνολικά διατιθέμενης και τιμολογούμενης και ποσότητας νερού.

7.4.4. DMA’s στο δίκτυο υδροδότησης της Κω

Για την οριοθέτηση των DMA’s στο δίκτυο της Κω, θα υιοθετηθεί η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε στην διπλωματική εργασία «Μείωση του μη ανταποδοτικού νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης μέσω διαχείρισης της πίεσης στη πόλη της Κω» (Μακρής, 2013). Ειδικότερα, στο εν λόγω πόνημα, βλέπουμε πως γίνεται προσπάθεια να ακολουθηθεί μια τεχνική για τη διαχείριση των απωλειών που συνδυάζεται και συσχετίζεται με τη διαχείριση της πίεσης αφού τοποθετηθούν ειδικές βαλβίδες που μειώνουν την πίεση (Pressure Reducing Valves-PRVs). Ως εκ τούτου, στην προϋπόθεση αυτή βασίζεται και ο σχεδιασμός των DMAs, μιας και θεωρήθηκε πως κάθε τοποθετούμενη PRV μπορεί να αποτελέσει μία είσοδο DMA. Έτσι, βάσει αυτού του σκεπτικού στην αρχή σχεδιάστηκαν 11 DMA που αντιστοιχούσαν στις 11 PRVs που τοποθετήθηκαν με σημείο αναφοράς το κέντρο της πόλης.

Βέβαια, το σχέδιο γρήγορα αναθεωρήθηκε καθώς παρατηρήθηκε πως υπήρχε αστοχία ως προς τις βασικές αρχές που προϋποθέτουν την διαμόρφωση DMA, δηλαδή στην αναλογία του πλήθους των υδρομέτρων ανά DMA. Παράλληλα, η υπόθεση αυτή, δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί οικονομική μιας και για την εφαρμογή της θα έπρεπε να τοποθετηθεί ένας μεγάλος αριθμός βανών αποκλεισμού. Όλα τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα τον σχεδιασμό, τελικά, 6 DMA. Η απόφαση αυτή κρίνεται ικανοποιητική δεδομένου πως δεν παρατηρούνται ζητήματα που σχετίζονται με την ικανοποίηση της ζήτησης κατά την προσομοίωση της διαδικασίας στο ειδικό πρόγραμμα υδραυλικής επίλυσης, ενώ την ίδια στιγμή των δίκτυο διακρίνεται σε 6 εύκολα προς διαχείριση τμήματα.

Βασικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα κατά τον σχεδιασμό των 6 αυτών DMA είναι τα ακόλουθα:

- κατανομή της πίεσης: σε πρώτο στάδιο οι κόμβοι των DMAs εμφάνισαν παρόμοια διακύμανση της πίεσης εντός εικοσιτετράωρου από ποιοτικής και ποσοτικής πλευράς.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- έγινε ισοκατανομή του πληθυσμού με τη βοήθεια υδρομέτρων: Σύμφωνα με τη δυναμική του του εν λόγω δικτύου θεωρήθηκε ως δεδομένο πως σε κάθε DMA αντιστοιχούν περίπου 1000 με 1500 υδρόμετρα.
- το δίκτυο παρουσιάζει τις ιδιομορφίες του: δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που ο σχεδιασμός ήταν δύσκολος ή και ανέφικτος μιας και δεν υπήρχε σε αρκετά σημεία μία λογική συνέχεια στην κατασκευή του δικτύου αγωγών
- έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν λιγότερες επιπλέον δικλείδες - βάνες αποκλεισμού: Για να γίνει αυτό αντιληπτό, αρκεί να πούμε πως στον αρχικό σχεδιασμό χρειάζονταν αρκετές βάνες, περισσότερες από 20, στον σχεδιασμό που τελικά προκρίθηκε χρειάζονται μόνο 5
- Προσπάθεια για ισοκατανομή των PRVs ανά DMA

7.4.5. Στοιχεία του δικτύου

Για να γίνει αντιληπτή η γεωμετρία του δικτύου και να μπορέσει ο μελετητής να προτείνει χωρισμό στεγανών υποζωνών, πρέπει να ξέρει τη σημασία των αγωγών. Οι διατομές μαζί με την ποσότητα που διέρχεται μέσα από τον κάθε ένα δίνει μία άλλη σημασία σε κάθε αγωγό. Η εικόνα που ακολουθεί αποτυπώνει το δίκτυο ύδρευσης της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. με βάση τη σημασία και τη διάμετρο των αγωγών.

Εικόνα 49 Το δίκτυο χωρισμένο με κριτήριο την διάμετρο των αγωγών.

Ο τρόπος λειτουργίας του δικτύου που μελετήθηκε εξηγεί το πώς λειτουργεί ξεχωριστά η κάθε DMA, βρίσκοντας παράλληλα και τα σημεία εισόδου εκάστης. Η εικόνα που ακολουθεί είναι ενδεικτική του τι περιεγράφηκε παραπάνω. Φαίνεται, εν ολίγοις η λειτουργία των DMAs μαζί με

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

τα σημεία εισόδου ροής του νερού. Αξίζει να σημειωθεί πως με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι αγωγοί που είναι κλειστοί και που πλέον χαρακτηρίζονται ως όρια των μικρότερων υποζωνών.

Εικόνα 50 Διαχωρισμός της Κω σε DMAs

Εικόνα 51 PRVs και DMAs στο δίκτυο της Κω

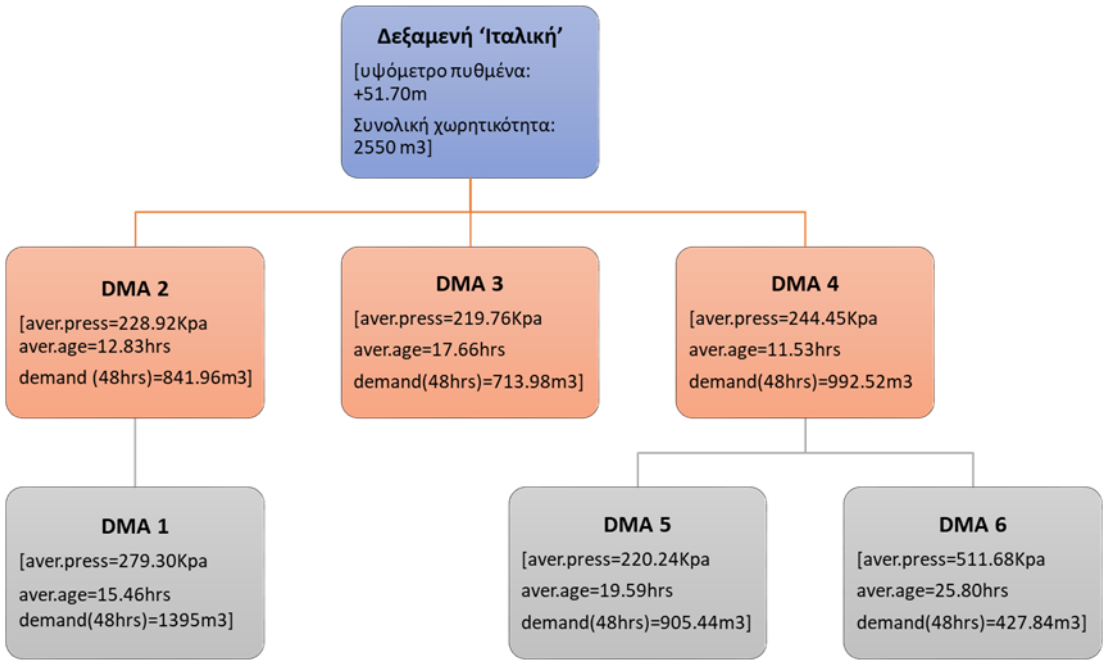
Σύμφωνα με τα όσα φαίνονται από την παραπάνω απεικόνιση, γίνεται γνωστό πως ο βασικός τροφοδοτικός αγωγός ξεκινά από την Ιταλική δεξαμενή που βρίσκεται στο βόρειο μέρος του δικτύου, οδηγείται στην περίμετρο της πόλης και από εκεί πηγαίνει σε κάθε πρωτεύοντα αγωγό διανομής. Παρατηρείται δε ότι η DMA 6 έχει αφαιρεθεί από τις λεπτομέρειες της μελέτης αφού

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

αποτελεί μία αμιγώς τουριστική περιοχή και το χειμώνα δεν εξυπηρετεί έως και καθόλου ζητήσεις. Η συμπεριφορά της είναι τελείως διαφορετική από τις άλλες και κατά συνέπεια δεν θα ληφθεί υπόψιν για να μην επιφέρει και λάθος εντυπώσεις.

Βασικό σκεπτικό της χάραξης του δικτύου είναι πως δεν πρέπει να σταματήσει η υδροδότηση των καταναλωτών, γι' αυτό και έχουν σχεδιαστεί ειδικές εναλλακτικές διαδρομές, οι οποίες «ενεργοποιούνται» σε κάθε βλάβη με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα για το λεγόμενο «υδραυλικό πλήγμα». Έτσι, λοιπόν, βλέπουμε πως το νερό σε πρώτη φάση περνάει από την DMA 2 (με 1 αγωγό εισόδου), τη DMA 3 (με 1 αγωγό εισόδου) και την DMA 4 (με 2 αγωγούς εισόδου). Ουσιαστικά, η διαδρομή του νερού είναι από τη DMA 2 στη DMA 1 ενώ από τη DMA 4 κατευθύνεται στις DMA 5 και 6.

Σχηματικά αυτό απεικονίζεται ως ακολούθως:



Γράφημα 57 Η διαδρομή του νερού στο δίκτυο της Κω, χωρισμένο σε DMA

7.4.6. Τα σενάρια

Με τη βοήθεια του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης και του υδραυλικού μοντέλου που έχει ήδη αναπτυχθεί για την πόλη της Κω, εξετάζονται 3 βασικά σενάρια τα οποία και θα αναλυθούν στη συνέχεια. Συνοπτικά, στο πρώτο από αυτά, μελετάται η αρχική κατάσταση του δικτύου έτσι όπως ήταν πριν οριοθετηθούν οι DMA και πριν τοποθετηθούν οι βαλβίδες μείωσης πίεσης (PRVs). Ακολούθως, στο σενάριο 2 γίνονται υπολογισμοί μετά και τη διαμόρφωση των DMA έχοντας παράλληλα κλειστούς ορισμένους αγωγούς με σκοπό να διαχωριστούν κάποιες υποπεριοχές του δικτύου. Τέλος, στο σενάριο 3 γίνονται υπολογισμοί αφού έχουν προστεθεί οι βαλβίδες PRVs που αποσκοπούν στη μείωση του μέσου όρου της πίεσης σε κάθε υποζώνη. Να αναφερθεί πως το τρίτο σενάριο υλοποιείται με βάση έναν περιορισμό: ο κόμβος με τη ελάχτιστη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

πίεση σ' ολόκληρη τη διάρκεια ενός 24ώρου να μην πέφτει κάτω από 200kPa ή περίπου 2 ατμόσφαιρες.

Συνοπτικά, οι μελέτες περίπτωσης που εφαρμόστηκαν στο δίκτυο της Κω συνοψίζονται στα 3 παρακάτω σενάρια:

- Σενάριο 1: Αρχική Κατάσταση [No DMAs - No PRVs]
- Σενάριο 2: Οριοθέτηση περιοχών DMAs [With DMAs - No PRVs]
- Σενάριο 3: Οριοθέτηση περιοχών DMAs κι εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης πίεσης [With DMAs - With PRVs]

7.4.7. Ηλικία του νερού των κρίσιμων κόμβων

Για εξοικονόμηση υπολογιστικών πόρων αρχικά το δίκτυο μελετήθηκε μόνο για δύο ημέρες. Οι κρίσιμοι κόμβοι της ηλικίας όπως πρωτοεμφανίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι σε κάθε υποζώνη ο κόμβος με τη μεγαλύτερη ηλικία νερού για ανάλυση 48 ωρών. Ακολουθούν οι πίνακες (και για τα 3 σενάρια) όπου παρουσιάζονται ο κρίσιμος κόμβος, οι τιμές πίεσης, ζήτησης και οι μέσες τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε DMA.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Πίνακας 21 Ηλικία, πίεση και ζήτηση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_1

Scenario 1: NO DMAs _ NO PRVs							
		ΗΛΙΚΙΑ (hrs)			ΠΙΕΣΗ (Kpa)		ΖΗΤΗΣΗ (m^3/h)
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	MAX Κρίσιμου	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	DEMAND Κρίσιμου
DMA 1a	J-137	13,494	16,315	23,131	460,093	407,812	10,1
DMA 1b	241	12,278	13,275	24,32	494,027	494,063	15,22
DMA 2	2515	9,769	21,777	33,656	484,017	503,879	1,76
DMA 3	2565	13,624	15,673	22,964	482,940	494,682	6,82
DMA 4	K-66	10,656	17,171	22,331	474,054	487,681	16,92
DMA 5	4656	15,886	20,652	33,94	500,154	497,144	3,32

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 52 Ηλικία των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_1

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Πίνακας 22 Κρίσιμοι κόμβοι με βάση την ηλικία, πίεση και ζήτηση ανά DMA. Σενάριο_2.

Scenario 2: WITH DMAs _ NO PRVs							
		ΗΛΙΚΙΑ (hr)			ΠΙΕΣΗ (Kpa)		ΖΗΤΗΣΗ (m^3/h)
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	MAX Κρίσιμου	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	DEMAND Κρίσιμου
DMA 1a	J-139	14,821	15,478	25,698	450,014	387,925	10,1
DMA 1b	130347	13,456	16,372	27,508	482,916	492,225	3,32
DMA 2	2515	10,562	22,757	34,927	457,247	476,815	1,76
DMA 3	J-53	14,365	15,698	26,117	470,959	463,096	25,3
DMA 4	2972	11,512	14,075	23,851	465,530	486,271	10,1
DMA 5	4656	15,905	20,767	33,546	480,404	467,531	3,32

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 53 Ηλικία του νερού στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_2

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Πίνακας 23 Ηλικία, πίεση και ζήτηση νερού στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_3

Scenario 3: WITH DMAs & PRVs							
		ΗΛΙΚΙΑ (hr)			ΠΙΕΣΗ (Kpa)		ΖΗΤΗΣΗ (m^3/h)
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	MAX Κρίσιμου	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	DEMAND Κρίσιμου
DMA 1a	J-139	16,292	19,433	27,333	262,582	200,388	8,16
DMA 1b	130347	14,748	20,719	29,565	296,024	305,411	2,84
DMA 2	2515	12,828	25,352	35,664	228,924	248,570	1,38
DMA 3	J-53	17,657	19,730	27,927	219,764	209,547	19,54
DMA 4	2181	12,113	12,145	31,582	244,451	251,871	20,32
DMA 5	4656	19,602	25,512	39,113	220,243	212,871	2,56

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 54 Ηλικία του δικτύου στους Κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_3

Ο τρόπος που διαμορφώνονται οι κρίσιμοι κόμβοι δεν είναι κοινός για την εκάστοτε DMA. Κατά τη διάρκεια της ρύθμισης της πίεσης σε αυτές μετά και την εφαρμογή των βαλβίδων PRV βλέπουμε μια σημαντική πτώση στη μέση τιμή της πίεσης του δικτύου, στοιχείο που αν κρίνουμε από το σχεδιασμό του δικτύου, τις ανάγκες που υπάρχουν αλλά και το μέγεθός του είναι επιθυμητό.

Στις υποζώνες 1a, 1b, 2 και 3 παρατηρείται ότι ταυτίζονται οι κρίσιμοι κόμβοι (J-139, 130347, 2515 και J-53 αντίστοιχα) των σεναρίων 2 και 3. Παρ' όλα αυτά παρατηρείται μία αύξηση της ηλικίας του νερού η οποία, όπως είναι λογικό οδηγεί σε μείωση της πίεσης οπότε και σε γενικότερο πλαίσιο συντελεί στην μείωση της ζήτησης στους συγκεκριμένους κόμβους.

Παράλληλα, βλέπουμε τη μέση ηλικία σε έναν κρίσιμο κόμβο να είναι πιο μεγάλη από αυτήν της DMA όπου βρίσκεται. Αξίζει να σημειωθεί, πως βάσει του λογισμικού, προκύπτει πως στη DMA 2 αυτή η διαφορά για τον κόμβο με ονομασία ID (2515) να εμφανώς πιο μεγάλη στα σενάρια 2 και 3. Πιθανή εξήγηση για αυτό αποτελεί η θέση του κόμβου μιας και αυτός αντιστοιχεί στο τελευταίο κομμάτι ενός κεντρικής σημασίας μεγάλου σε μήκος αγωγού αλλά και στη χαμηλή ζήτηση νερού. Τα δύο αυτά δεδομένα έχουν ως αποτέλεσμα τη στασιμότητα και την παραμονή του νερού στο ίδιο σημείο αντί της ανανέωσής του. Η εικόνα που ακολουθεί περιγράφει ακριβώς την κατάσταση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 55 Η θέση του κρίσιμου ως προς την ηλικία κόμβου της DMA2

Μελετώντας τους κρίσιμους κόμβους της ηλικίας σε πρώτη φάση παρατηρούμε την σταδιακή και σημαντική αύξηση της ηλικίας όσο ρυθμίζουμε την πίεση και μειώνουμε το εισερχόμενο νερό. Περνάμε σε αντίθεση με τα προηγούμενα παραδείγματα στα κεφάλαια 7.1 έως 7.3, σε ένα δίκτυο με μεγάλο δείκτη απωλειών και εξαρτώμενων της πίεσης χρήσεων, που κλονίζεται ποιοτικά έντονα από τη μείωση του εισερχόμενου νερού.

7.4.8. Πίεση του νερού των κρίσιμων κόμβων

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Πίνακας 24 Πίεση, ηλικία και ζήτηση στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_1

Scenario 1: NO DMAs_NO PRVs							
		ΠΙΕΣΗ (Kpa)		ΗΛΙΚΙΑ (hrs)			ΖΗΤΗΣΗ (m^3/h)
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	MAX Κρίσιμου	DEMAND Κρίσιμου
DMA 1a	J-135	460,093	401,936	13,494	15,590	22,167	20,26
DMA 1b	14068	494,027	473,882	12,278	11,910	16,869	40,48
DMA 2	14049	484,017	457,195	9,769	12,972	18,038	37,14
DMA 3	K-116	482,940	489,770	13,624	13,781	21,675	7,06
DMA 4	213	474,054	430,674	10,656	9,669	12,506	69,24
DMA 5	2996	500,154	492,571	15,886	13,248	20,856	32,1

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

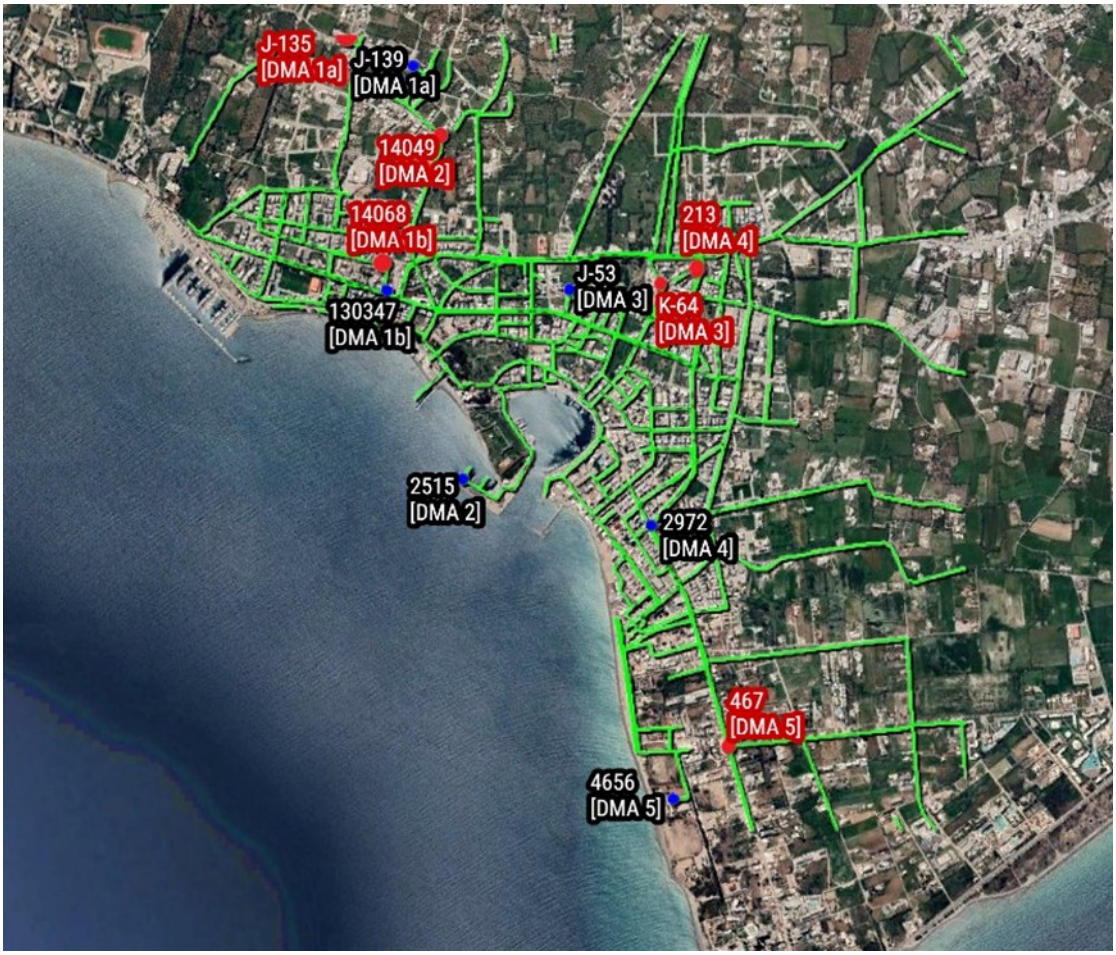
Εικόνα 56 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_1

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Πίνακας 25 Πίεση, ηλικία και ζήτηση στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_2

Scenario 2: WITH DMAs_NO PRVs							
		ΠΙΕΣΗ (Kpa)		ΗΛΙΚΙΑ (hrs)			ΖΗΤΗΣΗ (m^3/h)
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	MAX Κρίσιμου	DEMAND Κρίσιμου
DMA 1a	J-135	450,014	391,756	14,821	15,910	25,264	20,26
DMA 1b	14068	482,916	463,784	13,457	12,076	20,097	40,48
DMA 2	14049	457,247	430,574	10,562	12,998	18,788	37,14
DMA 3	K-64	470,959	451,584	14,137	14,364	22,139	10,08
DMA 4	213	465,530	422,110	11,512	10,510	12,745	69,24
DMA 5	467	480,404	466,752	15,902	16,107	24,534	43,92

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 57 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_2

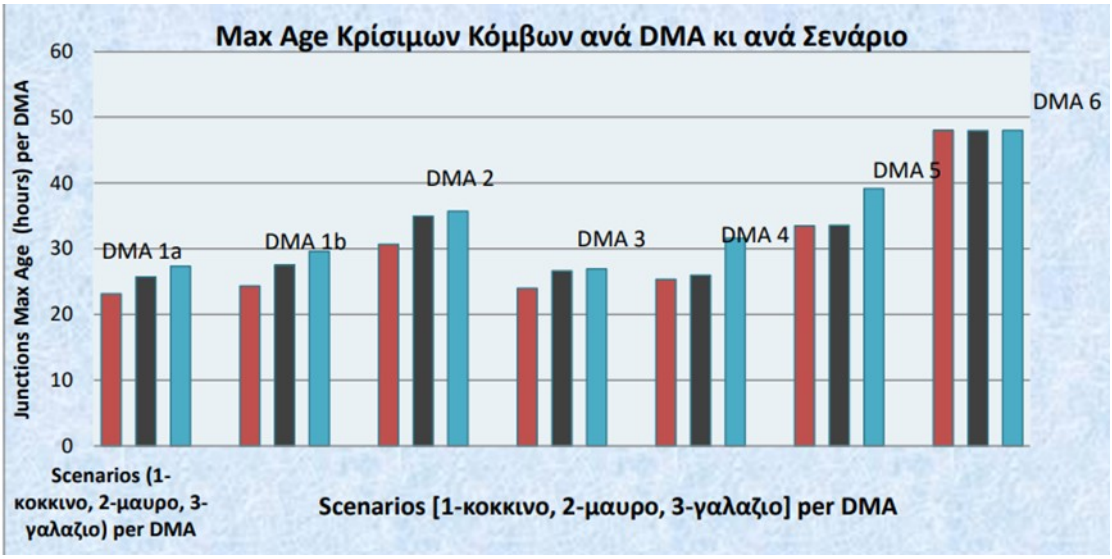
Σενάριο 3

Πίνακας 26 Πίεση, ηλικία και ζήτηση στους κρίσιμους κόμβους. Σενάριο_3

Scenario 3: WITH DMAs & PRVs							
		ΠΙΕΣΗ (Kpa)		ΗΛΙΚΙΑ (hrs)			ΖΗΤΗΣΗ (m^3/h)
DMAs	Κρίσιμοι Κόμβοι	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	AVERAGE per DMA	AVERAGE Κρίσιμου	MAX Κρίσιμου	DEMAND Κρίσιμου
DMA 1a	J-139	262,582	200,388	16,292	19,433	27,333	8,16
DMA 1b	14068	296,024	276,749	14,748	14,176	20,868	34,1
DMA 2	220	228,924	201,228	12,828	9,355	11,639	19,5
DMA 3	K-64	219,764	203,441	17,657	17,873	23,967	7,86
DMA 4	213	244,451	208,845	12,113	11,076	12,966	55,16
DMA 5	467	220,243	212,397	19,602	20,009	27,119	33,64

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 58 Ηλικία και πίεση των κρίσιμων κόμβων. Σενάριο_3



Γράφημα 58 Οι μέγιστες ηλικίες των κρίσιμων κόμβων ανά σενάριο μελέτης και ανά DMA

Η παραπάνω μοντελοποίηση αναδεικνύει πως τοποθετώντας ειδικές βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRVs) στο Σενάριο-3 επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της πίεσης η οποία δεδομένου του σχεδιασμού αλλά και των αναγκών που παρουσιάζονται στο δίκτυο φτάνει το ιδανικό στοιχείο για να λειτουργήσει σωστά το δίκτυο και να μειωθούν οι αφανείς απώλειες. Βέβαια, οι κόμβοι που

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

παρουσιάζουν πολύ χαμηλές πιέσεις χαρακτηρίζονται αξιοπρόσεκτοι και κρίσιμοι καθώς, όπως προαναφέρθηκε και σε άλλο σημείο της εργασίας, θεωρούνται ανεπιθύμητες για την απρόσκοπτη λειτουργία του εκάστοτε δικτύου και για αυτό αποφεύγονται.

Θυμίζουμε, πως βάσει των προδιαγραφών του δικτύου της ΔΕΥΑ, ως ελάχιστο όριο πίεσης ορίζεται εκ του κανονισμού στις 2atm κι ο έλεγχος αυτού του μεγέθους προϋποθέτει μαθηματική προσομοίωση του δικτύου σε όλο το μήκος του, υπολογίζοντας τόσο τις διαστάσεις των αγωγών αλλά και γενικότερα τη γενική διάταξη του έργου.

Συνοψίζοντας, η μέγιστη ηλικία σε κάθε αντίστοιχο κρίσιμο κόμβο στα τρία διαφορετικά σενάρια μελέτης που παρουσιάστηκαν παραπάνω (για ανάλυση 48 ωρών, όπως ειπώθηκε στην αρχή) παρουσιάζεται στο παραπάνω γράφημα. Συμπερασματικά, στο 3ο σενάριο σε όλες τις DMA βλέπουμε να αυξάνεται η ηλικία του κρίσιμου κόμβου χωρίς να ξεπερνά το 24%.

7.4.9. Αξιολόγηση των σεναρίων

Βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα σενάρια που εξετάζονται παραπάνω παρατηρείται μια σημαντική βελτίωση στις τιμές της μέσης πίεσης ανά DMA, στοιχείο που όμως επηρεάζει τις τιμές τόσο της ηλικίας του νερού στο δίκτυο όσο και της συνολικής κατανάλωσης. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω ανά σενάριο:

Πίνακας 27 Στοιχεία για την ηλικία και τη ζήτηση νερού στους κόμβους για το Σενάριο 1.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	INITIAL SETTINGS NO DMAs NO PRVs					
	DMA1a	DMA1b	DMA2	DMA3	DMA4	DMA5
Μέγιστη Ηλικία (hrs)	23,13	24,32	33,66	22,96	22,33	33,94
Μέση Μέγιστη Ηλικία (hrs)	18,98	17,45	12,15	21,36	14,32	24,49
Μέση Ηλικία ανά DMA (hrs)	13,49	12,28	9,77	13,62	10,66	15,89
Μέση Ηλικία Δικτύου (hrs)	**12,62**					
Ζήτηση (48h) (m^3)	1105,50	872,93	1280,42	1092,15	1467,65	1395,11
Συνολική Ζήτηση Δικτύου (m^3)	**7213,76**					

Πίνακας 28 Στοιχεία για την ηλικία και τη ζήτηση νερού στους κόμβους για το Σενάριο 2

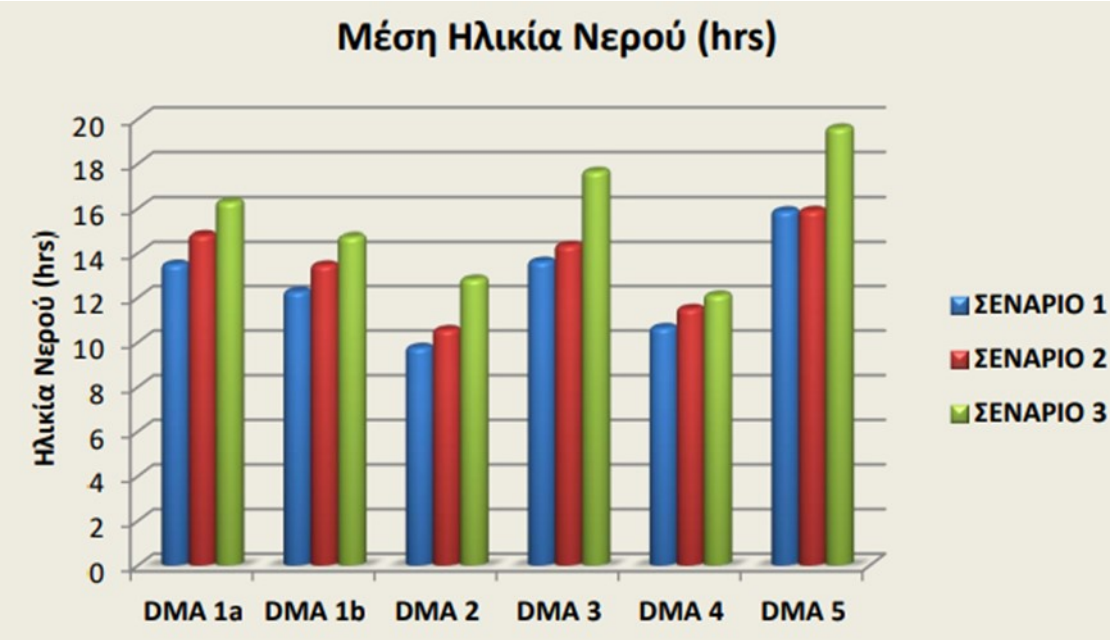
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	WITH DMAs NO PRVs					
	DMA1a	DMA1b	DMA2	DMA3	DMA4	DMA5
Μέγιστη Ηλικία (hrs)	25,70	27,51	34,93	26,12	23,85	33,55
Μέση Μέγιστη Ηλικία (hrs)	22,04	20,52	14,75	22,70	16,58	24,98
Μέση Ηλικία ανά DMA (hrs)	14,82	13,46	10,56	14,37	11,51	15,90
Μέση Ηλικία Δικτύου (hrs)	**13,44**					
Ζήτηση (48h) (m^3)	1105,50	872,93	1280,42	1092,15	1467,65	1395,11
Συνολική Ζήτηση Δικτύου (m^3)	**7213,76**					

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 29 Στοιχεία για την ηλικία και τη ζήτηση νερού στους κόμβους για το Σενάριο 3

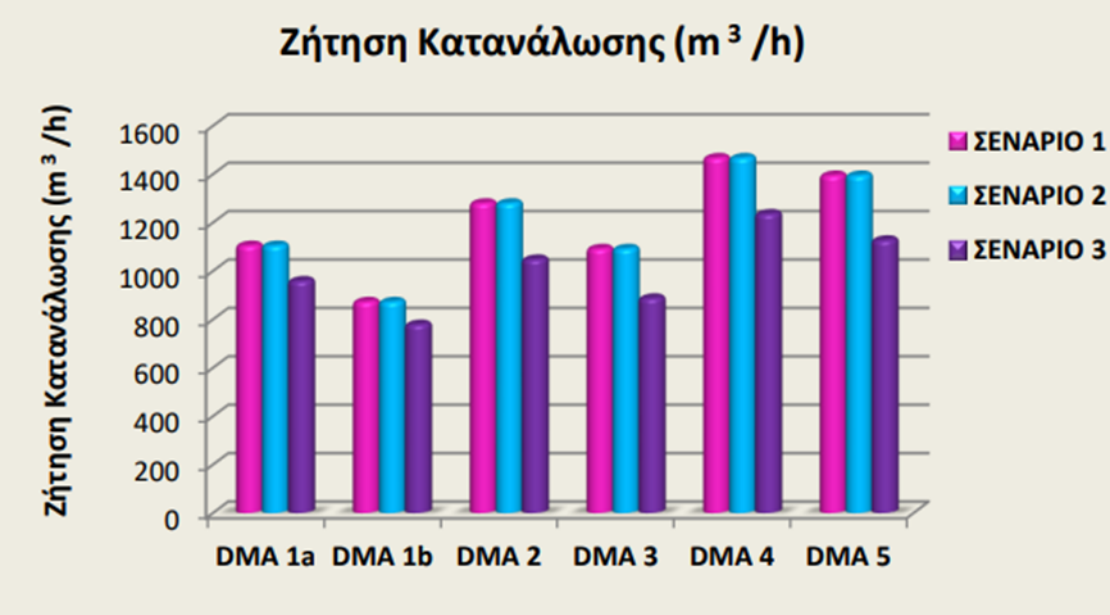
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	WITH DMAs WITH PRVs					
	DMA1a	DMA1b	DMA2	DMA3	DMA4	DMA5
Μέγιστη Ηλικία (hrs)	27,33	29,57	35,66	27,93	31,58	39,11
Μέση Μέγιστη Ηλικία (hrs)	23,31	21,36	17,41	23,38	18,90	26,99
Μέση Ηλικία ανά DMA (hrs)	16,29	14,75	12,83	17,66	12,11	19,60
Μέση Ηλικία Δικτύου (hrs)	**15,54**					
Ζήτηση (48h) (m^3)	959,22	779,17	1048,4	887,49	1236,13	1127,53
Συνολική Ζήτηση Δικτύου (m^3)	**6037,94**					

Η μέση ηλικία νερού ανά DMA σε κάθε σενάριο μελέτης παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 59 Η μέση ηλικία νερού ανά DMA ανά σενάριο μελέτης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 60 Ζήτηση κατανάλωσης ανά DMA ανά σενάριο μελέτης

Επιχειρώντας να «ερμηνεύσουμε» όλα τα παραπάνω, βλέπουμε πως ναι μεν αν τοποθετηθούν PRVs μειώνεται η πίεση αλλά αυτή η παραδοχή δεν επιδρά το ίδιο θετικά στην ηλικία του νερού στο δίκτυο. Ειδικότερα, φαίνεται πως η μέση ηλικία για το Σενάριο 2 ήταν 13,44 ώρες ενώ στο Σενάριο 3 μετά και την εγκατάσταση ειδικών βαλβίδων μείωσης (PRVs) αυτή αυξήθηκε στις 15,54 ώρες. Αντίστοιχα, αύξηση βλέπουμε να παρατηρείται και στην ηλικία των κρίσιμων κόμβων (AGE max).

Σχετικά με την ηλικία του νερού, αυτή εξαρτάται από την ζήτηση νερού στους κόμβους, την απόστασης που διανύει το νερό για να φτάσει στο δίκτυο από τις δεξαμενές, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και το σχεδιασμό του δικτύου. Οι αυξομειώσεις της ζήτησης επιδρούν σημαντικά στον τρόπο που λειτουργεί το σύστημα διανομής νερού καθώς και στον προσδιορισμό της ηλικίας του νερού, που επιδρά άμεσα στον παράγοντα που σχετίζεται με την ποιότητα του νερού.

Γενικότερα, διαπιστώνουμε πως η μείωση της ζήτησης σε αυτό το δίκτυο ταυτίζεται άρρηκτα με την αύξηση της ηλικίας . Ειδικότερα, μέσα και από την ανάλυση που προηγήθηκε βλέπουμε πως το μέγεθος της συνολικής ζήτησης του νερού στους κόμβους μετά την τοποθέτηση των βαλβίδων πίεσης μειώθηκε κατά περίπου 1176 m3 μέσα σε 48 ώρες. Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο πως μία πολύ σημαντική παράμετρος που σχετίζεται με τον σχεδιασμό ενός δικτύου και αφορούν την υδραυλική ακεραιότητά του όπως και την απρόσκοπτη λειτουργία του είναι ο τρόπους που ρυθμίζεται η πίεση και ειδικότερα οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Είναι γνωστό πως μεγάλες τιμές εύκολα προκαλούν φθορά στις βαλβίδες και εν γένει στον εξοπλισμό του δικτύου και ως εκ τούτου προκαλούνται διαρροές ή ακόμα και διακοπές, φαινόμενα που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού. Αντίστοιχα, χαμηλές τιμές σχετίζονται με πιθανή αστοχία σε κάποια αντλία ή βαλβίδα και έχουν ως αποτέλεσμα αργοπορημένη αντίδραση σε περίπτωση φωτιάς ή ακόμα, έσχατο σενάριο βέβαια, πιθανή είσοδο επιβλαβούς για την ανθρώπινη υγεία νερού. Δεν πρέπει να ξεχνάμε πως χαμηλές τιμές πίεσης αλλά και μεγάλο διάστημα παραμονής του νερού μέσα στο δίκτυο έχουν ως αποτέλεσμα ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Ως εκ τούτου, γίνεται σαφές πως οι σωλήνες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

που απαρτίζουν το δίκτυο νερού όπως και γενικότερα ο κάθε σχετικός εξοπλισμός πρέπει να έχει διαστάσεις τέτοιες που να επιτρέπουν την απαιτούμενη ροή του νερού βάσει της ταχύτητας που προκύπτει ανάλογα και τις απαιτήσεις των καταναλωτών.

7.4.10. Η ηλικία του δικτύου μετά και τη ρύθμιση της πίεσης των PRVs – ρυθμός ενηλικίωσης – η μέθοδος της χρυσής τομής

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με την ηλικία του δικτύου ύδρευσης όπως αυτή διαμορφώνεται μετά και την τοποθέτηση των PRVs. Θυμίζουμε πως στην κάθε υποζώνη DMA έχουν τοποθετηθεί βαλβίδες απομείωσης της πίεσης σταθερού ανοίγματος (fixed outlet PRV) στις οποίες καθιερώθηκαν συγκεκριμένα πρότυπα λειτουργίας. Ο τρόπος που διαμορφώθηκε η πίεση παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 30 Πίεση PRVs, εκδοχή 1η

Label	Pressure Setting (Initial) (kPa)
PRV-1	350
PRV-2	232
PRV-3	205
PRV-4	213,5
PRV-5	226
PRV-6	227
PRV-7	300
PRV-8	227
PRV-9	350
PRV-10	225
PRV-11	289,5
PRV-12	299,5

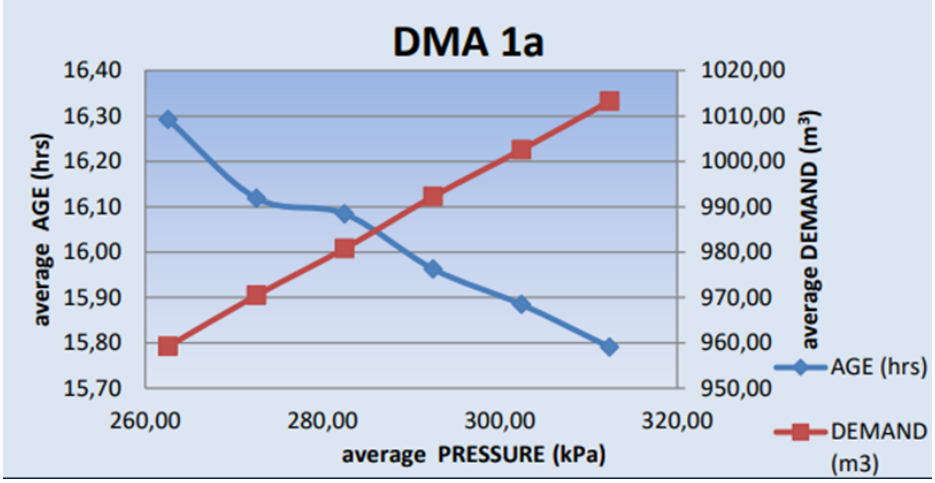
Ως 1η εκδοχή ορίστηκαν οι αρχικές τιμές πίεσης των βαλβίδων. Για να μελετηθεί ο τρόπος που μεταβάλλεται η ηλικία του νερού ανάλογα με τις αλλαγές στην πίεση εξετάστηκαν άλλες 5 περιπτώσεις, καθεμία εξ αυτών ταυτίζεται με την σταδιακή αύξηση της πίεσης κατάντη των PRV κατά 10, 20, 30, 40 και 50KPa [Εκδοχή-2, -3, -4, -5 και -6 αντίστοιχα]. Βάσει αυτής της αλλαγής θα παρουσιαστεί η μεταβολή στην πίεση του δικτύου εν συνόλω συνυπολογιζόμενης της ζήτησης και της ηλικίας νερού. Η αύξηση του επιπέδου της πίεσης αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση της ηλικίας του νερού. Βασικό ζητούμενο διερεύνησης είναι ωστόσο, για τον βαθμό αύξησης της πίεσης που θα φέρει την βέλτιστη τιμή στην ηλικία του νερού με ταυτόχρονο περιορισμό της απώλειας υδάτων.

Ακολουθούν 6 διαγραμματικές απεικονίσεις με μεταβολές στη μέση πίεση και μέση ηλικία, για καθεμία από τις έξι περιπτώσεις ανά DMA. Οι παρακάτω υπολογισμοί και τιμές αφορούν σενάριο καλοκαιρινών μηνών πράγμα που μας έδωσε τη δυνατότητα να επαναφέρουμε στη μελέτη την υποζώνη DMA 6. Τα γραφήματα παρακάτω είναι τεχνηέντως συνδυασμένα να παρουσιάσουν την παροχή και την ηλικία όσο μεταβάλλεται η πίεση ώστε να παρακολουθείται ταυτόχρονα ή αλλαγή στο εισερχόμενο νερό και στην ηλικία όσο δίνουμε διαφορετικές τιμές στην πίεση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 31 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA1α

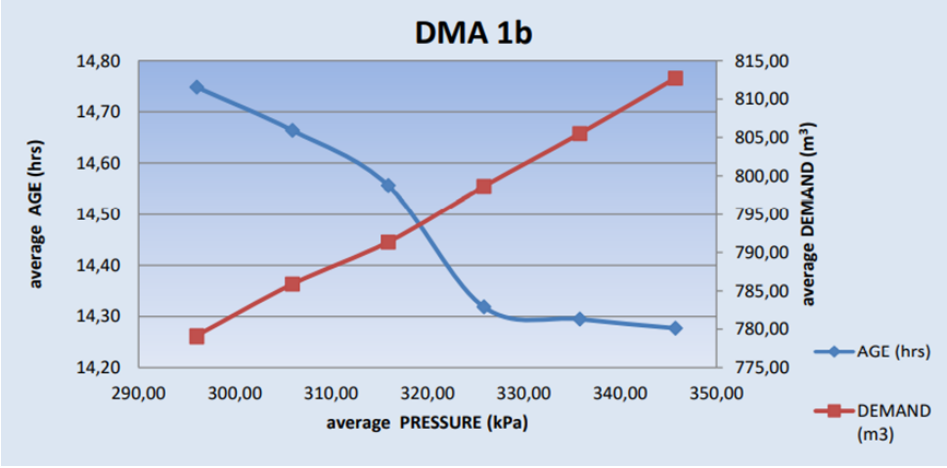
DMA 1a		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΛΟΧΕΣ	1	262,58	16,29	959,22
	2	272,55	16,12	970,47
	3	282,51	16,08	980,81
	4	292,47	15,96	992,25
	5	302,44	15,88	1002,56
	6	312,40	15,79	1013,27



Γράφημα 61 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA 1α ανά PRV

Πίνακας 32 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA1b

DMA 1b		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΛΟΧΕΣ	1	296,02	14,75	779,17
	2	305,96	14,66	785,88
	3	315,90	14,56	791,37
	4	325,84	14,32	798,61
	5	335,79	14,29	805,48
	6	345,72	14,28	812,71

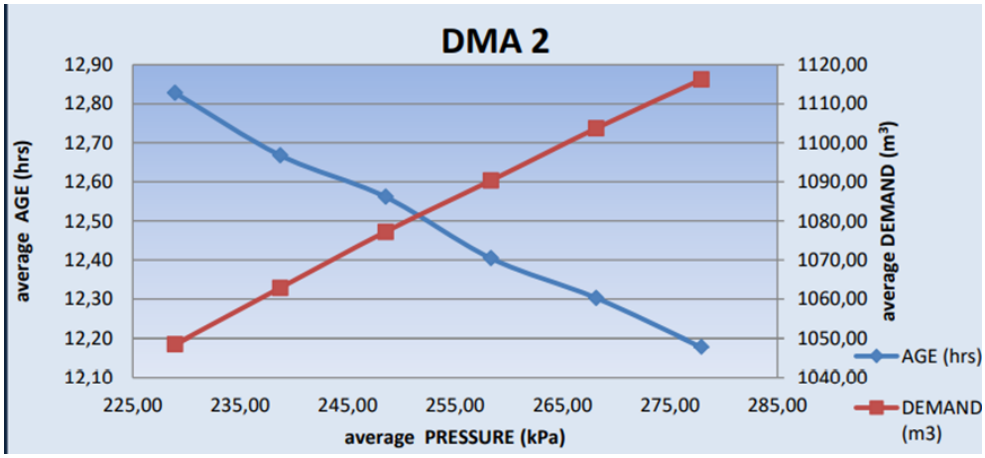


Γράφημα 62 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA 1b ανά PRV

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 33 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA2

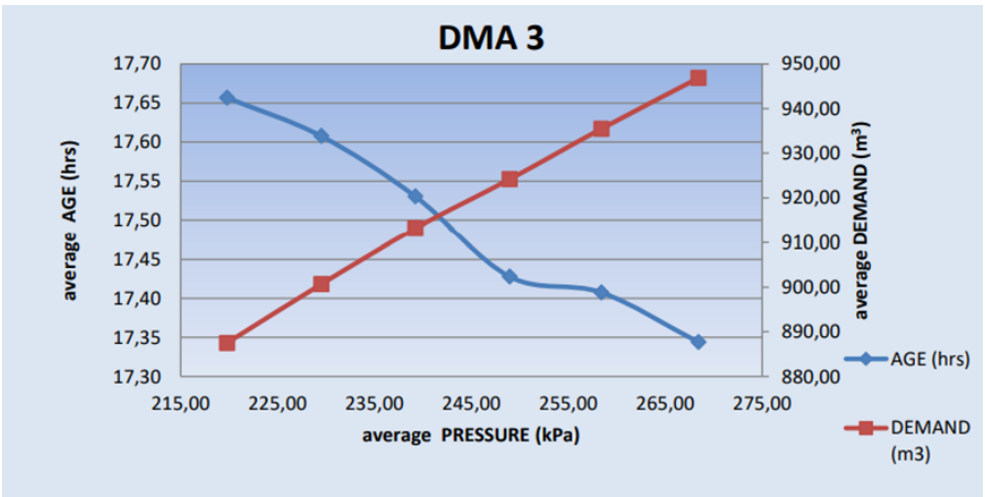
DMA 2		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΔΟΧΕΣ	1	228,92	12,83	1048,4
	2	238,71	12,67	1062,85
	3	248,52	12,56	1077,21
	4	258,32	12,40	1090,33
	5	268,12	12,30	1103,7
	6	277,91	12,18	1116,21



Γράφημα 63 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA 2 ανά PRV

Πίνακας 34 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA3

DMA 3		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΔΟΧΕΣ	1	219,76	17,66	887,49
	2	229,49	17,61	900,65
	3	239,22	17,53	913,18
	4	248,94	17,43	924,17
	5	258,40	17,41	935,47
	6	268.41	17.34	946.84

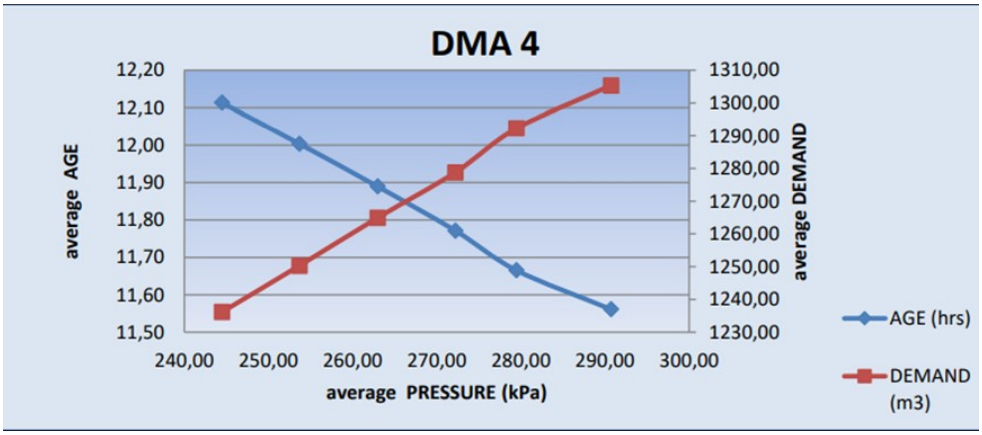


Γράφημα 64 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA 3 ανά PRV

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 35 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA4

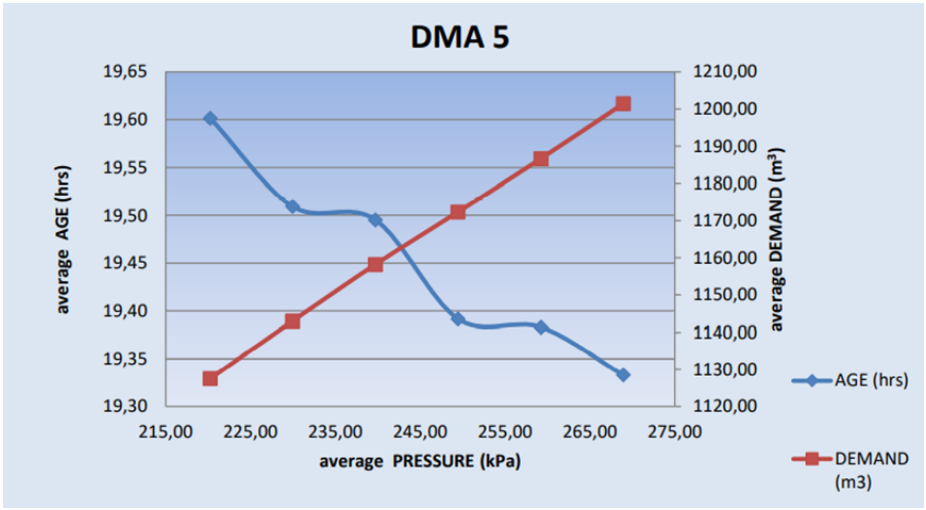
DMA 4		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΔΟΧΕΣ	1	244,45	12,11	1236,13
	2	253,66	12,00	1250,28
	3	262,96	11,89	1264,91
	4	272,20	11,77	1278,78
	5	279,47	11,67	1292,26
	6	290,70	11,56	1305,32



Γράφημα 65 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA 4 ανά PRV

Πίνακας 36 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA 5

DMA 5		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΔΟΧΕΣ	1	220,24	19,60	1127,53
	2	229,95	19,51	1143,01
	3	239,71	19,50	1158,2
	4	249,44	19,39	1172,34
	5	259,21	19,38	1186,68
	6	268,92	19,33	1201,44

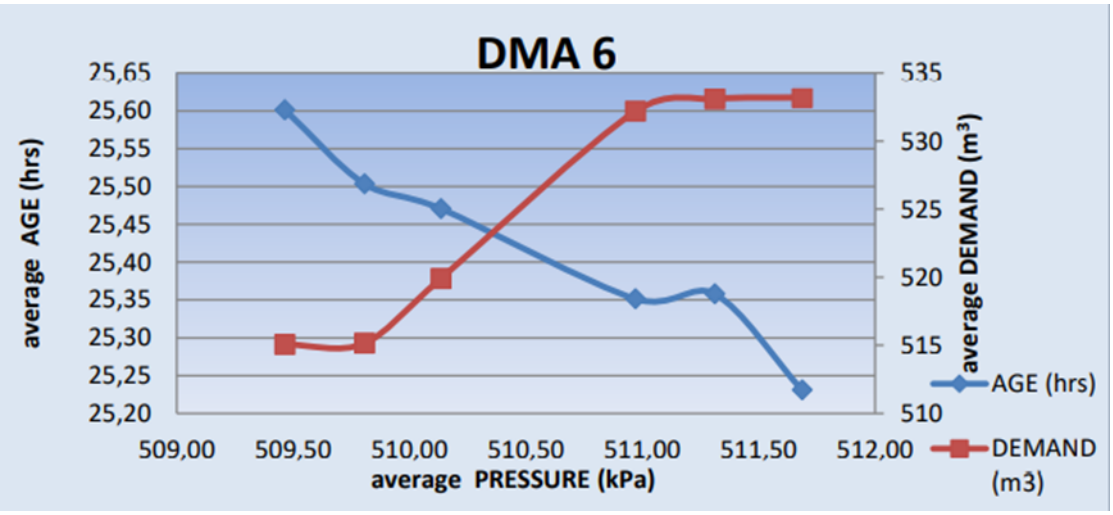


Γράφημα 66 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA5 ανά PRV

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 37 Σχέση των PRVs με πίεση, ηλικία και ζήτηση στην DMA 6

DMA 6		PRESSURE (Kpa)	AGE (hrs)	DEMAND (m^3)
ΕΚΔΟΧΕΣ	1	509,46	25,60	515,06
	2	509,81	25,50	515,15
	3	510,13	25,47	519,89
	4	510,97	25,35	532,18
	5	511,31	25,36	533,09
	6	511,69	25,23	533,2



Γράφημα 67 Η σχέση ηλικίας- πίεσης- ζήτησης για την DMA 6 ανά PRV

Όπως φαίνεται στα γραφήματα και τους πίνακες οι δύο γραμμές της παροχής και της ηλικίας τέμνονται όντως σε ένα εύρος πιέσεων. Αυτή η τομή ενδεικτικά θα ονομαστεί χρυσή τομή της ηλικίας και του εισερχόμενου νερού στο σύστημα κάθε υποζώνης και η τιμή της πίεσης που επιφέρει αυτή τη συμβολή, κρίνεται ως η πιο συνετή τιμή ρύθμισης της βαλβίδας PRV. Μία τέτοια λογική σίγουρα αφορά δυσκίνητα δίκτυα και λύσεις χαμηλής παρεμβατικότητας αφού δεν εξετάζεται ευρύτερα το θέμα της ρύθμισης της ηλικίας με διαφορετική ζωνοποίηση.

Το θετικό αποτέλεσμα ως εκ τούτου, όπως προέκυψε από την εφαρμογή που εξηγήθηκε παραπάνω, είναι η μεγάλη μείωση της πίεσης στη ροή του νερού. Αποφεύχθηκε σίγουρα μία τακτική ή ρύθμιση που θα μπορούσε να επιφέρει αποσπασματική ή και καθόλου υδροδότηση. Αντίστοιχα, αν αυξηθεί σημαντικά η πίεση ναι μεν θα ικανοποιηθούν οι ανάγκες ζήτησης των καταναλωτών, ωστόσο αυτό εγκυμονεί κινδύνους αναφορικά με την ευθραυστότητα των αγωγών αλλά και την ύπαρξη διαρροών αυξάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο τις διαρροές στο δίκτυο άρα και την απώλεια νερού. Συγκεκριμένα για την Κω ένα τέτοιο σενάριο θα ήταν εξαιρετικά δυσβάσταχτο να υποστηριχθεί και λόγω μεγάλου κόστους άντλησης αλλά και έλλειψης πολλών εναλλακτικών πηγών υδροδότησης.

Γενικότερα θα λέγαμε πως είναι παραπάνω από πρόδηλο πως για να θεωρηθεί ένα δίκτυο πως λειτουργεί σωστά θα πρέπει να προσφέρει στους πελάτες – καταναλωτές, ποιοτικό νερό, επομένως η έννοια της ποιότητας είναι μείζονος σημασίας. Αυτή επηρεάζεται εμφανώς όταν αυξηθεί ο χρόνος παραμονής του νερού στο δίκτυο. Βασική αιτία για αυτό είναι η ρύπανσή του από τους ίδιους τους αγωγούς αλλά και από τη μείωση χρήσης των απολυμαντικών συστατικών. Ακολούθως,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

η ηλικία του νερού επηρεάζεται από τις ρυθμίσεις πίεσης και τη ζήτηση νερού στους κόμβους. Η σχέση τους μελετήθηκε και βρέθηκε να είναι αντίστροφη, αφού αύξηση της ζήτησης του νερού, οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας ροής στο δίκτυο κι έτσι επέρχεται μείωση της ηλικίας του νερού. Παρ΄ όλα αυτά η επιθυμητή μείωση της ηλικίας πρέπει να αντιστοιχίζεται με την ιδανική ρύθμιση της πίεσης έτσι ώστε να πληρούνται τόσο οι επιταγές της λειτουργίας όσο και της ποιότητας του νερού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα αποκαλύπτεται πως η ιδανική λύση βρίσκεται μεταξύ των εκδοχών 3 και 4. Φαίνεται, πως σε κάθε DMA όταν αυξάνεται η ρύθμιση των PRVs του δικτύου προκαλεί, όπως είναι αναμενόμενο, μία συνεχόμενη ελάττωση της ηλικίας του νερού με παράλληλη αύξηση της ζήτησης ύδατος στους κόμβους μιας και αυξάνονται οι απώλειες. Αν βέβαια, ρυθμιστεί η πίεση των PRVs του δικτύου σε ενδιάμεσες τιμές των Εκδοχών -3 και -4 βλέπουμε πως η ηλικία μειώνεται τόσο ώστε να ικανοποιούνται παράλληλα τα όρια των επιτρεπόμενων τιμών των απωλειών. Ρύθμιση της πίεσης παρατηρώντας παράλληλα πάντα την πορεία της ηλικίας.

7.5. Η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης

7.5.1. Λίγα λόγια για την πόλη της Κοζάνης και το δίκτυο ύδρευσης

Η Κοζάνη είναι η πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού της Βορείου Ελλάδος. Περιτριγυρίζεται από τις ογκώδεις οροσειρές του Βερμίου, του Μπούρινου και των Πιερίων Ορών ενώ το υψόμετρό της είναι 720 μέτρα. Όσον αφορά στις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, αυτές χαρακτηρίζονται από το ηπειρωτικό κλίμα με τους γνωστούς ξηρούς και ψυχρούς χειμώνες με τα πολύ θερμά καλοκαίρια.

Αναφορικά με το υδροδοτικό της σύστημα, στοιχείο στο οποίο βασίζεται η παρούσα εργασία, αυτό αποτελείται από εξωτερικό υδραγωγείο με εσωτερικό δίκτυο διανομής. Τη διαχείριση του όλου δικτύου την έχει η Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης, η λειτουργία της οποίας ως δημοτική επιχείρηση ξεκίνησε στις 20 Ιουνίου 1988 με σκοπό και στόχο «να προσφέρει τις καλύτερες υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης». Σήμερα, στο πελατολόγιό της δημοτικής επιχείρησης, εντάσσονται περισσότερο από 50.000 καταναλωτές οι οποίοι απολαμβάνουν υπηρεσίες που άπτονται της λειτουργίας, της συντήρησης, της κατασκευής και της διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης του Δήμου Κοζάνης. Αξίζει να σημειωθεί, πως τα τελευταία χρόνια στο δίκτυο της εταιρείας έχουν προστεθεί 2 μονάδες βιολογικού καθαρισμού.

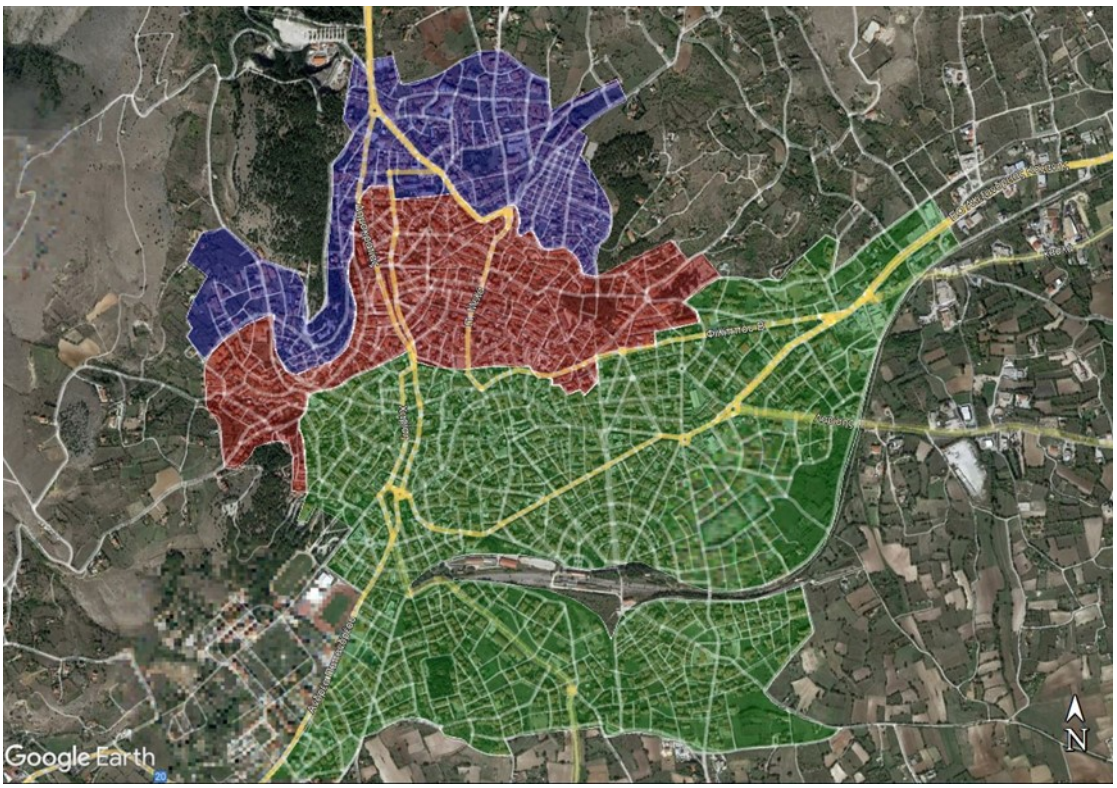
Παράλληλα, η τροφοδότηση του εξωτερικού δικτύου της Κοζάνης γίνεται από γεωτρήσεις και πηγές. Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια και ειδικά από το 1992 η πόλη τους χειμερινούς μήνες υδροδοτείται από τις πηγές της Ερμακιάς ενώ τους θερινούς μήνες αντλείται νερό από τις γεωτρήσεις του χωριού Βαθύλακος.

Ως προς τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου, έχει επιλεγεί ένα βαρυτικό σύστημα εξαιτίας της ιδιαίτερης μορφολογίας της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μια σημαντική διαφορά

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

υψομέτρου που ξεπερνάει σε ορισμένες περιπτώσεις τα 200 μέτρα. Γι' αυτό το λόγο έχουν οριστεί 3 ζώνες πίεσης:

- Η υπερύψηλη ζώνη στο βόρειο τμήμα με υψόμετρο 750-800 μέτρα (μπλε περιοχή)
- Η μεσαία ζώνη με υψόμετρο 710-750 μέτρα (κόκκινη περιοχή)
- Η χαμηλή ζώνη με υψόμετρο 610-710 (πράσινη περιοχή)



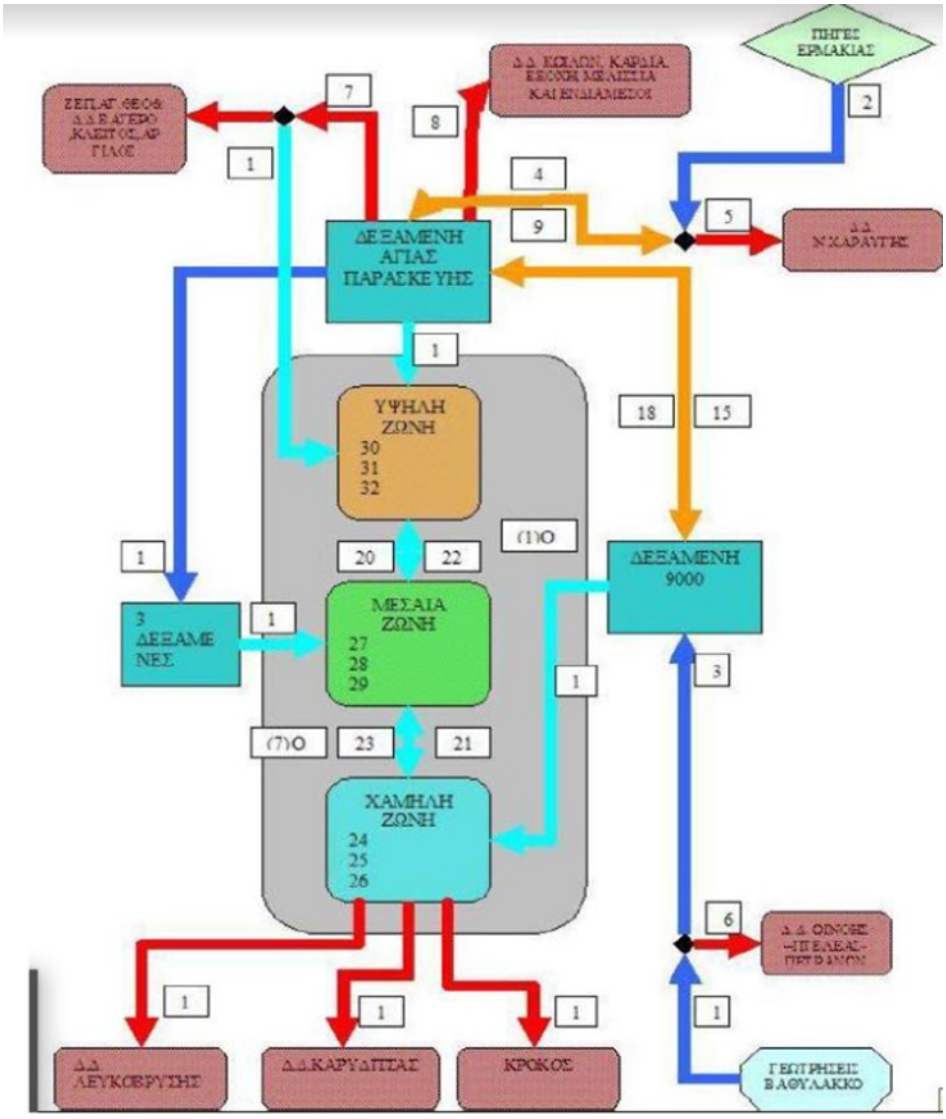
Εικόνα 59 Οι ζώνες πίεσης στο δημοτικό δίκτυο ύδρευσης της Κοζάνης

Αναφορικά με το παραπάνω γράφημα, θα πρέπει να σημειώσουμε πως στις ζώνες που είναι χωρισμένο το εν λόγω δίκτυο, εντοπίζεται εμφανώς η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στις περιοχές της Κοζάνης, με αποτέλεσμα αυτές οι τρείς ζώνες να μην μπορούν να αποτελέσουν στεγανές υποζώνες (DMAs) από την στιγμή που υπάρχουν περισσότερα από ένα σημεία εισόδου εξόδου σ' αυτές (Βασιλόπουλος 2017).

Αναφορικά με το νερό που προέρχεται από τις γεωτρήσεις και τις πηγές, τα ύδατα αυτά συγκεντρώνονται στις δεξαμενές και από εκεί μοιράζονται στους καταναλωτές. Ως προς τις δεξαμενές που είναι διαθέσιμες αυτήν την περίοδο αυτές είναι:

- Δεξαμενή Αγίας Παρασκευής: Η χωρητικότητά της είναι 1.000m^3. Μέσω αγωγού διαμέτρου Φ500 και μήκους σχεδόν 25km μεταφέρονται οι ποσότητες νερού από τις πηγές Ερμακιάς στην δεξαμενή. Μέσω της συγκεκριμένης δεξαμενής καλύπτεται η υδροδότηση της υψηλής ζώνης της πόλης, ενώ συνδέεται και με την δεξαμενή 9000.
- Συγκρότημα 3 δεξαμενών: Περιλαμβάνει 3 δεξαμενές ωφέλιμου όγκου 1.200 m^3, 1.800 m^3 και 3.000 m^3 αντίστοιχα. Υδροδοτεί την μεσαία ζώνη της πόλης.
- Δεξαμενή 9000: Διαθέτει ωφέλιμο όγκο 9.000 m^3 και χρησιμοποιείται για την υδροδότηση της μεσαίας και της χαμηλής ζώνης της πόλης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 60 Ο τρόπος διαμοιρασμού του νερού στο εσωτερικό και εξωτερικό υδραγωγείο της ΔΕΥΑΚ, Πηγή: Πατέλης, 2013

7.5.2. Προβλήματα που εντοπίζονται στο υπάρχον δίκτυο

Το πιο μεγάλο πρόβλημα που εντοπίζεται στο δίκτυο της ΔΕΥΑΚ σχετίζεται με τις υψηλές τιμές πίεσης, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζουν τις 10 ατμόσφαιρες. Σε αυτές τις υπερπιέσεις, «πέφτει το βάρος» για τυχούσες φθορές στον εξοπλισμό και τα εξαρτήματα του δικτύου (αγωγούς, βάνες, βαλβίδες, αντλιοστάσια) που έχουν ως αποτέλεσμα το πολύ συχνό σπάσιμο του συγκεκριμένου υλικού το οποίο γίνεται είτε επιφανειακά αντιληπτό είτε όχι με άμεσες συνέπειες στην παροχή υδροδότησης με συχνές διακοπές.

Άλλα παρόμοια προβλήματα που καταγράφονται σχετίζονται με την ποσότητα των απωλειών νερού του δικτύου που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του μη ανταποδοτικού νερού σε ποσοστό 58% του εισερχόμενου όγκου νερού του συστήματος. Αντίστοιχα, άλλα προβλήματα καταγράφονται με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση νερού που οδηγεί στην υπεράντληση που έχουν ως αποτέλεσμα ο υδροφόρος ορίζοντας να υποβαθμίζεται και να αναζητούνται νέοι πόροι.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.5.3. Μελέτη της ηλικίας και της πίεσης του δικτύου

7.5.3.1 Διερεύνηση κρίσιμων κόμβων (Η στάθμιση της ζήτησης)

Για την καλύτερη μελέτη και παρακολούθηση των χαρακτηριστικών μιας DMA πάντα εντοπίζεται και παρακολουθείται ο κρίσιμος κόμβος. Ο κρίσιμος κόμβος είναι εκείνος που εμφανίζει την μεγαλύτερη ηλικία. Το μοντέλο σε αρχικό επίπεδο μελετήθηκε για 96 ώρες ανάλυσης. Επίσης εντοπίστηκαν οι κόμβοι (και η επίδραση του καθενός μέσω βαρυτικών συντελεστών) που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του δικτύου ανεξάρτητα από την πίεση και την ηλικία του νερού που εμφανίζουν. Ο υπολογισμός τους έγινε με βάση τον σταθμισμένο μέσο όρο και ο βαρυτικός συντελεστής w προέκυψε από τη ζήτηση του κάθε κόμβου της κάθε DMA.

Εξίσωση 2 Σταθμισμένος μέσος όρος

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{k}(wi*xi)}{\sum_{i=1}^{k} wi}$$, όπου w: ο συντελεστής βαρύτητας του στοιχείου xi

Στην συνέχεια επισυνάπτονται πίνακες με τους κρίσιμους ηλικιακά κόμβους. Παρουσιάζονται επίσης, για κάθε κρίσιμο κόμβο η αντίστοιχη τιμή πίεσης και ζήτησης σε σύγκριση με τον μέσο όρο αυτών σε κάθε στεγανή υποζώνη, ακόμα και στις περιπτώσεις, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί χωρισμός του δικτύου μέσω απομόνωσης αγωγών. Με παρόμοιο τρόπο παρατίθενται οι κρίσιμοι κόμβοι από πλευράς πίεσης και οι αντίστοιχες τιμές ηλικίας και ζήτησης. Επιπρόσθετα, επισυνάπτονται πίνακες για 3 διαφορετικά σενάρια μελέτης (ένα για κάθε μήνα που μελετήθηκε) με τους σταθμικούς κρίσιμους κόμβους λόγω του βαρυτικού συντελεστή.

7.5.4. Σχολιασμός της ηλικίας και της πίεσης των κρίσιμων κόμβων

Η ηλικία των κρίσιμων κόμβων στο δίκτυο:

Σημειώνοντας ότι οι προσομοιώσεις επηρεάζονται από διάφορα χαρακτηριστικά του λογισμικού και στην αρχή της προσομοίωσης στις πρώτες ώρες δεν αποδίδουν αποτελέσματα αξιόπιστα, παρατηρείται ότι η τιμή της μέγιστης ηλικίας στον κρίσιμο κόμβο μιας DMA, είναι υψηλότερη σε σχέση με την μέση ηλικία των κόμβων της συγκεκριμένης υποζώνης κατά κύριο λόγο και η τιμή της δεν παρουσιάζεται κατ’ ανάγκη την 96^{η} ώρα της ανάλυσης. Αυτό δικαιολογείται από το διαφορετικό μοτίβο κατανάλωσης στην διάρκεια μιας μέρας (π.χ. η κατανάλωση τις πρώτες ώρες της νύχτας είναι σαφέστατα μικρότερη σε σύγκριση μ’ αυτήν των μεσημεριανών ωρών).

Αναμενόμενο είναι και το αποτέλεσμα πτώσης στην ηλικία τον Ιούλιο σε σύγκριση με τους μήνες Φεβρουάριο και Νοέμβριο, γεγονός που οφείλεται στη μεγαλύτερη απαίτηση και κατανάλωση νερού τους θερινούς μήνες αλλά και στην ύπαρξη μεγαλύτερου όγκου νερού στους ταμιευτήρες (φυσικούς και τεχνητούς) τους χειμερινούς μήνες εξαιτίας των κατακρημνίσεων. Ωστόσο εμφανίζονται DMAs που «λοξοδρομούν» από την αναμενόμενη αυτή κατάσταση. Αυτές είναι οι υποζώνες K-1, K-2 οι οποίες αποτελούν καταληκτικές περιοχές της πόλης και η 12 η οποία είναι περιοχή εισόδου και μεταφοράς του νερού από αυτή σε άλλες περιοχές. Έτσι καταλήγουμε στο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

συμπέρασμα ότι οι μεν δυο πρώτες δεν εμφανίζουν μεγάλη δραστηριότητα τους θερινούς μήνες εξαιτίας πιθανόν απουσίας δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται σε αυτές τις περιοχές (στην περιοχή Κ-1 στεγάζεται το κολυμβητήριο της πόλης το οποίο τους θερινούς μήνες παραμένει κλειστό) ενώ στην περίπτωση της DMA 12 συμπεραίνουμε ότι κατά τον μήνα Ιούλιο (και γενικότερα κατά το θέρος) τροφοδοτείται με μεγαλύτερη ποσότητα νερού για να εξυπηρετήσει άμεσα και ικανοποιητικά τις ανάγκες των κατοίκων και καθώς εμπεριέχει περισσότερη ποσότητα νερού σε σύγκριση με τις άλλες εποχές δικαιολογείται «γηραιότερο νερό» εντός της.

Ο χωρισμός του δικτύου ύδρευσης σε DMAs και η προσθήκη βαλβίδων σε αυτό, έγινε έτσι ώστε να μειωθεί η πίεση, η οποία επιφέρει αύξηση της ηλικίας του νερού. Ωστόσο συγκρίνοντας τα ευρήματα των 3 σεναρίων, εντοπίζεται μείωσης της ηλικίας νερού. Εξαίρεση αποτελούν για τον μήνα Φεβρουάριο οι ζώνες Κ-1 και 4Α, για τον μήνα Ιούλιο οι Κ-1, Κ-3 και 4Α και για τον Νοέμβριο οι ζώνες 4Α και Κ-3. Ιδιαίτερα θετικό αυτό το γεγονός καθώς επιβεβαιώνεται ότι ο χωρισμός σε στεγανές υποζώνες αλλά και η προσθήκη βαλβίδων απομείωσης πίεσης (PRVs) είναι ιδιαιτέρως σημαντική και αποτελεί κερδοφόρο εγχείρημα, καθώς επιφέρει εξίσου οικονομικά και ποιοτικά αποτελέσματα.

Όσον αφορά τους ηλικιακούς κρίσιμους κόμβους, που οφείλονται στην αυξημένη ζήτηση και στην παραμονή νερού εντός τους, παρατηρήθηκε ότι τον Νοέμβριο καταγράφεται η μέγιστη ηλικία νερού, η οποία τον Ιούλιο μειώνεται και η ελαχίστη τιμή της παρουσιάζεται τον Φεβρουάριο. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σεναρίων, προκύπτει πτώση από το 1^{ο} Σενάριο στο 2^{ο} Σενάριο και ελαφριά άνοδος από το 2^{ο} Σενάριο 3^{ο} στο Σενάριο, στο οποίο το νερό παραμένει ηλικιακά νεότερο σε σχέση με το 1^{ο} Σενάριο. Οι σταθμικοί κρίσιμοι κόμβοι είναι ίδιοι για κάθε μήνα και κάθε σενάριο και έχουν μια σταθερή τιμή μεταξύ 20 έως 40 ωρών, ενώ βρίσκονται σε σημεία της DMA με τη μέγιστη ζήτηση. Συμπερασματικά, στις περιοχές υψηλής ζήτησης, στις οποίες εξυπηρετείται η πλειονότητα του πληθυσμού, διατίθεται φρέσκο νερό και ο κίνδυνος που ελλοχεύει για μόλυνση από ασθένειες λόγω ανάπτυξης μικροοργανισμών στο παραμένων νερό ελάχιστος.

Τέλος σ' όλους τους κρίσιμους κόμβους η πίεση δεν ήταν μικρότερη από τα 200kPa που αποτελεί το ελάχιστο όριο

Η πίεση των κρίσιμων κόμβων στο δίκτυο:

Όσον αφορά την πίεση οι κρίσιμοι κόμβοι εμφανίζουν τιμές, οι οποίες είναι αναμενόμενα μικρότερες από τη μέση τιμή της πίεσης στους κόμβους κάθε ζώνης.

Οι μεγαλύτερες τιμές πίεσης παρατηρήθηκαν τον μήνα Νοέμβριο, ενώ τον μήνα Ιούλιο εμφανίζονται οι μικρότερες τιμές για το 1^{ο} Σενάριο. Η διακύμανση της πίεσης εμφανίζεται μεταξύ 400 και 700 kPa, εκτός του κρίσιμου κόμβου (freatia_new-821) της DMA Κ-1 που εμφανίζει πίεση μικρότερη από 200 kPa και για τους 3 μήνες της ανάλυσης, χωρίς όμως αυτό να είναι κάτι τόσο δυσμενές λόγω της περιοχής που βρίσκεται ο κόμβος.

Με τον διαχωρισμό του δικτύου σε υποζώνες παρατηρείται αυξητική μείωση στην πίεση, η οποία όμως εξομαλύνεται με την τοποθέτηση PRVs. Παρότι οι τιμές που εμφανίζονται ως ελάχιστες είναι μικρότερες των 200 kPa, επειδή δεν αποκλίνουν από αυτή την τιμή κατά πολύ δεν δημιουργούν προβλήματα στην εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Η μείωση της πίεσης είναι ευεργετική καθώς

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

μπορεί να οδηγήσει στην δραστική μείωση θραύσης αγωγών. Επίσης πρέπει να συνυπολογιστεί ότι στους συγκεκριμένους κρίσιμους κόμβους η ηλικία του νερού βρίσκεται στο φάσμα μεταξύ 12,52 και 26,86 ωρών (για ανάλυση96 ωρών), πράγμα που σημαίνει ότι οι τελικοί χρήστες προμηθεύονται φρέσκο νερό.

Ως προς την πίεση, οι κρίσιμοι κόμβοι, οι οποίοι προέκυψαν από το συνδυασμό της ζήτησης (μεγάλος πολλαπλασιαστής w) των κόμβων της εκάστοτε υποζώνης με την αντίστοιχη πίεση παρουσιάζουν ίδια συμπεριφορά μ' αυτή των κρίσιμων κόμβων που εντοπίστηκαν κατά την υδραυλική προσομοίωση του δικτύου. Η μοναδική διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι σε κανέναν κόμβο δεν παρουσιάστηκε πίεση μικρότερη από 200kPa, συμπεραίνοντας ότι στις περιοχές με αυξημένη ζήτηση υπάρχει επαρκής πίεση για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών.

Επισημαίνεται ότι στην περιοχή K-2 ο κόμβος freatia_new-1863 επιδεικνύει ηλικία η οποία αυξάνεται παράλληλα με την ηλικία μελέτης του δικτύου ωστόσο εμφανίζει μικρή ζήτηση. Ο συγκεκριμένος κόμβος δεν συμπεριελήφθη ως κρίσιμος . Εξαιτίας , όμως , της ζήτησης που παρουσιάζει εντοπίστηκε και διαπιστώθηκε ότι έχει μηδενική ταχύτητα τροφοδότησης με νερό από τον αγωγό agwgoi_new-2219 και διάμετρο σημαντικά μεγάλη σε σύγκριση με την ταχύτητα ροής ίση με 63mm .

Αξιοσημείωτο είναι ότι σε ορισμένους κόμβους η αύξηση στην ηλικία του νερού είναι ανάλογη με του χρόνου ανάλυσης και για τα 3 σενάρια εξέτασης. Παρόλα αυτά οι συγκεκριμένοι κόμβοι βρίσκονται είτε σε τερματικά σημεία του δικτύου, είτε σε απομακρυσμένα σημεία των DMAs, όπου η κατανάλωση είναι ελάχιστη έως και μηδενική. Θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι τα σημεία αυτά δεν διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την λειτουργία του δικτύου και γι' αυτό το λόγο εξαιρούνται από τη μελέτη

7.5.5. Συγκεντρωτικοί πίνακες και γραφήματα της ηλικίας, της πίεσης και της ζήτησης

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αφορούν την πίεση, την ηλικία του νερού, της ζήτησης κάθε περιοχής και τις συνολικές ανάγκες σε νερό. Αναλύονται τα 3 σενάρια που έχουμε επεξεργαστεί τα οποία είναι σενάριο αρχικής κατάστασης δικτύου, σενάριο τμηματοποίησης σε ζώνες στεγανές και σενάριο που περιλαμβάνει και τη ρύθμιση της πίεσης. Η μελέτη έγινε για ανάλυση 100 ωρών από την έναρξη της προσομοίωσης, χρόνος αρκετός για την ισορρόπηση του δικτύου και την ασφαλή ανάγνωση των πρώτων δεδομένων.

7.5.5.1 1ο Σενάριο - Αρχική κατάσταση δικτύου

Πίνακας 38 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_1 (Φεβρουάριος)

Αρχική κατάσταση. No DMAs_No PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	36.9	19.2		432.8	684.4	588.8		227989	
5	68.6	24.6		648.5	809.5	721.2		244997	
4A	35.7	14.1		428.9	655.3	559.8		229070	
4K	36.3	17.9		577.6	816.5	571.6		172658	
K1	59.9	22.1		321.6	704.8	409.9		222293	
K2	84.3	28.4	23.6	529.8	1350.1	631.3	610.7	180174	3417265
K3	94.7	27.1		477.7	912.7	480.8		97569	
13	37.2	26.8		606.2	827.5	729.3		128741	
12	88.2	26.2		444.2	714.1	586.8		1606452	
7	41.2	26.4		612.7	750.8	669.5		176282	
6	38.0	27.2		639.3	820.9	768.5		131040	

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 39 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_1 (Ιούλιος)

Αρχική κατάσταση. No DMAs_No PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	32.2	18.6		438.1	679.9	589.1		244114	
5	60.4	22.8		636.9	799.5	717.0		310170	
4A	24.7	15.8		432.9	647.3	557.2		280433	
4K	31.4	18.0		563.8	804.9	664.4		204229	
K1	37.9	20.9		153.5	684.8	300.9		399534	
K2	87.6	26.7	22.5	363.1	1301.3	524.4	587.7	250281	4127456
K3	78.4	26.3		309.2	757.4	369.6		121275	
13	30.0	24.7		598.3	822.0	725.7		175814	
12	89.6	24.1		439.6	712.1	585.5		1790132	
7	35.4	24.2		603.6	744.3	666.0		201604	
6	36.9	25.2		683.7	813.9	764.5		149870	

Πίνακας 40 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_1 (Νοέμβριος)

Αρχική κατάσταση. No DMAs_No PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	40.9	19.2		451.8	684.2	592.4		224252	
5	69.6	25.0		654.2	797.6	727.5		254933	
4A	29.2	17.0		450.4	656.3	569.0		248661	
4K	41.5	19.5		583.5	814.5	678.6		176305	
K1	55.0	23.2		155.2	703.0	389.4		245294	
K2	89.9	29.3	25.3	363.9	1343.5	611.7	615.2	186150	3451651
K3	90.5	28.3		311	879.8	460.2		101640	
13	49.5	29.5		608.4	827.3	701.6		115092	
12	83.7	28.3		446.5	714.2	589.6		1622738	
7	50.4	28.9		615.5	750.4	673.1		163569	
6	47.4	29.6		696.6	820.5	773.6		113017	

7.5.5.2 2ο Σενάριο - Διαχωρισμός δικτύου σε DMAs

Πίνακας 41 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_2 (Φεβρουάριος)

Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs. With DMAs_No PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	24.1	15.8		162.8	413.9	325.5		228070	
5	57.0	17.2		184.6	324.9	249.1		244951	
4A	42.2	18.9		139.8	327.9	252.0		229013	
4K	24.4	17.8		190.6	399.7	278.2		172800	
K1	61.7	20.2		154.4	558.1	291.5		265932	
K2	83.6	25.3	19.2	171.2	765.7	311.4	283.9	209893	3372383
K3	91.6	21.5		191.8	571.2	254.9		96655	
13	23.8	19.0		175.6	407.5	312.5		151189	
12	86.8	18.1		149.5	635.8	357.0		1466630	
7	27.3	17.6		196.8	322.5	250.6		176241	
6	27.3	20.1		169.4	279.9	240.0		131009	

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 42 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_2 (Ιούλιος)

Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs. With DMAs_No PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	26.3	16.8		154.7	411.5	323.1		244060	
5	51.7	18.0		182.6	323.9	248.0		310114	
4A	39.4	19.9		139.3	319.2	250.2		280392	
4K	26.2	18.9		188.5	397.5	275.9		204201	
K1	42.0	20.0		152.3	556.6	290.4		344663	
K2	84.4	24.4	20.2	168	764.9	309.6	279.7	260927	4040082
K3	86.4	21.7		154.2	563.0	239.1		120030	
13	26.8	19.7		156.3	397.0	297.1		179978	
12	84.4	19.1		149.4	632.6	356.4		1744234	
7	27.4	25.7		195.5	321.0	249.6		201633	
6	31.1	17.5		169.3	279.9	237.7		149850	

Πίνακας 43 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_2 (Νοέμβριος)

Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs. With DMAs_No PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	29.9	19.1		160.8	413.4	325.1		223400	
5	59.9	20.8		184.2	313.8	248.9		254878	
4A	45.2	21.9		139.5	328.0	251.6		248594	
4K	29.6	21.2		190.1	399.9	277.7		176920	
K1	49.3	22.9		153.9	558.3	291.3		287830	
K2	78.1	27.6	22.3	170.8	765.7	311.2	283.9	217660	3407262
K3	94.5	24.3		189.5	571.7	252.8		101626	
13	36.4	22.2		177.9	408.4	313.4		113847	
12	51.8	21.2		149.4	640.4	360.1		1505969	
7	35.4	20.9		197.2	322.2	250.8		163540	
6	35.4	23.3		169.6	280.0	240.1		112998	

7.5.5.3 3ο Σενάριο - Διαχωρισμός δικτύου σε DMAs και προσθήκη βαλβίδων απομείωσης πίεσης.

Πίνακας 44 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_3 (Φεβρουάριος)

Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs και εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης πίεσης. With DMAs_With PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	24.0	15.8		162.8	413.9	325.5		221143	
5	57.1	17.3		184.5	324.9	249.1		244951	
4A	42.1	18.9		170.9	368.8	288.5		228609	
4K	24.5	17.9		190.6	399.7	278.2		171795	
K1	61.7	20.3		154.4	765.7	291.5		265844	
K2	83.3	25.2	19.3	171.2	765.7	308.5	288.0	212078	3359720
K3	91.4	21.3		164.8	576.9	243.5		95956	
13	23.6	19.0		206.6	426.3	335.3		151014	
12	86.6	18.8		149.5	635.8	356.9		1462731	
7	27.3	17.7		196.8	322.4	250.6		175573	
6	27.3	20.1		219.4	330.0	240.1		130026	

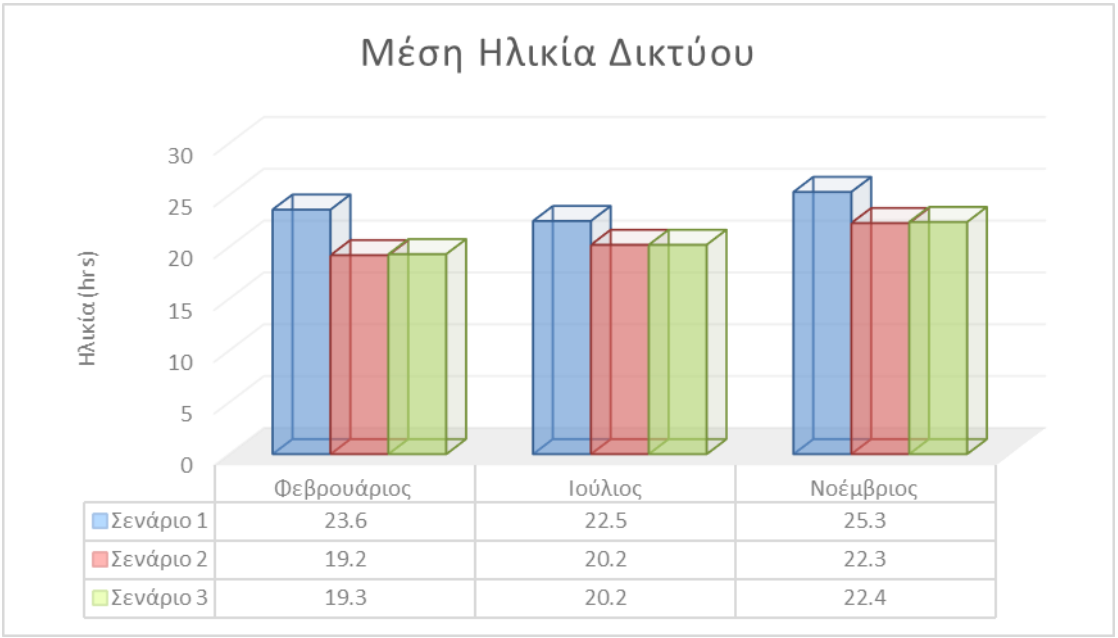
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 45 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_3 (Ιούλιος)

Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs και εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης πίεσης. With DMAs_With PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	25.6	16.8		154.7	411.5	323.1		244309	
5	52.7	18.0		182.6	323.9	248.0		309898	
4A	39.3	19.9		161.8	354.5	279.5		280391	
4K	25.5	18.6		188.6	397.5	275.9		204203	
K1	41.6	22.8		152.3	556.5	290.4		343800	
K2	84.2	24.3	20.2	11.9	764.9	306.6	287.2	262692	4020215
K3	86.8	21.6		75.5	552.3	260.2		120035	
13	25.9	19.6		199.3	420.3	329.7		179980	
12	45.6	19.2		149.4	632.6	356.4		1723479	
7	26.6	21.0		195.5	321.0	249.6		201579	
6	30.5	20.8		219.3	330.0	240.0		149849	

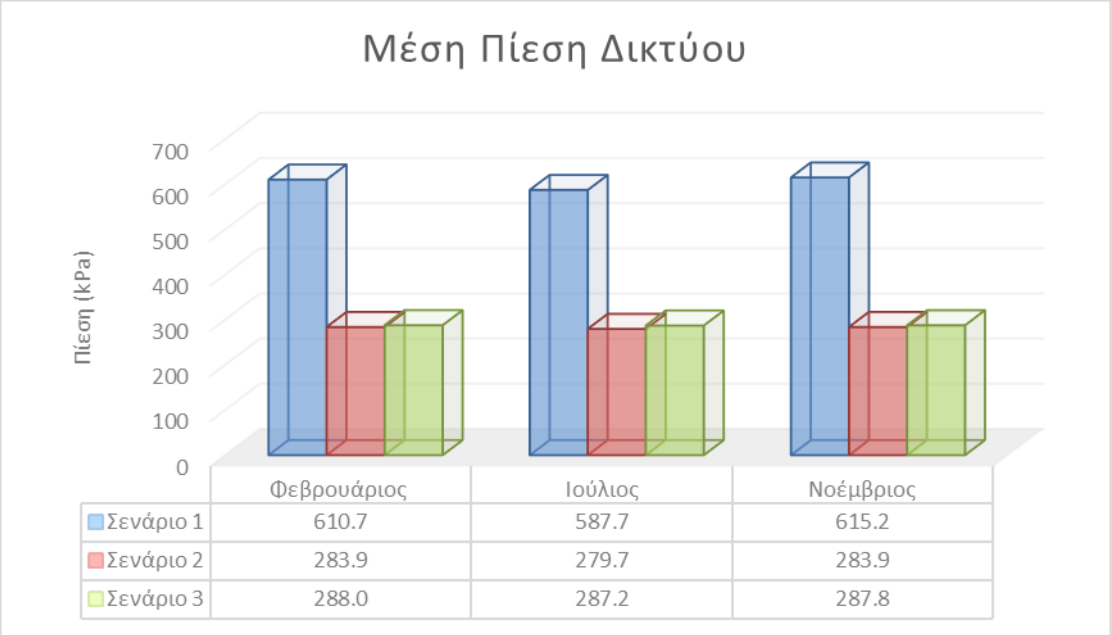
Πίνακας 46 Συγκεντρωτικός πίνακας για το Σενάριο_3 (Νοέμβριος)

Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs και εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης πίεσης. With DMAs_With PRVs									
DMA	Μέγιστη ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία (hrs)	Μέση ηλικία δικτύου (hrs)	Ελάχιστη Πίεση (kPa)	Μέγιστη Πίεση (kPa)	Μέση πίεση (kPa)	Μέση πίεση δικτύου (kPa)	Ζήτηση (m3)	Συνολική ζήτηση δικτύου (m3)
M	29.8	19.1		160.8	413.4	325.1		223204	
5	59.7	20.8		184.2	313.8	248.9		253879	
4A	45.0	21.9		168.5	368.0	286.2		248418	
4K	29.1	20.9		190.1	399.9	277.7		176598	
K1	72.5	23.0		153.9	558.3	291.3		287406	
K2	77.8	27.5	22.4	170.8	765.7	311.2	287.8	217091	3404064
K3	85.5	24.2		157.9	571.2	238.7		100624	
13	35.9	22.2		207.6	423.8	335.8		114348	
12	52.2	21.2		149.4	640.4	360.1		1506277	
7	35.3	20.9		197.2	322.2	250.8		163232	
6	35.2	24.3		219.6	330.0	240.1		112987	

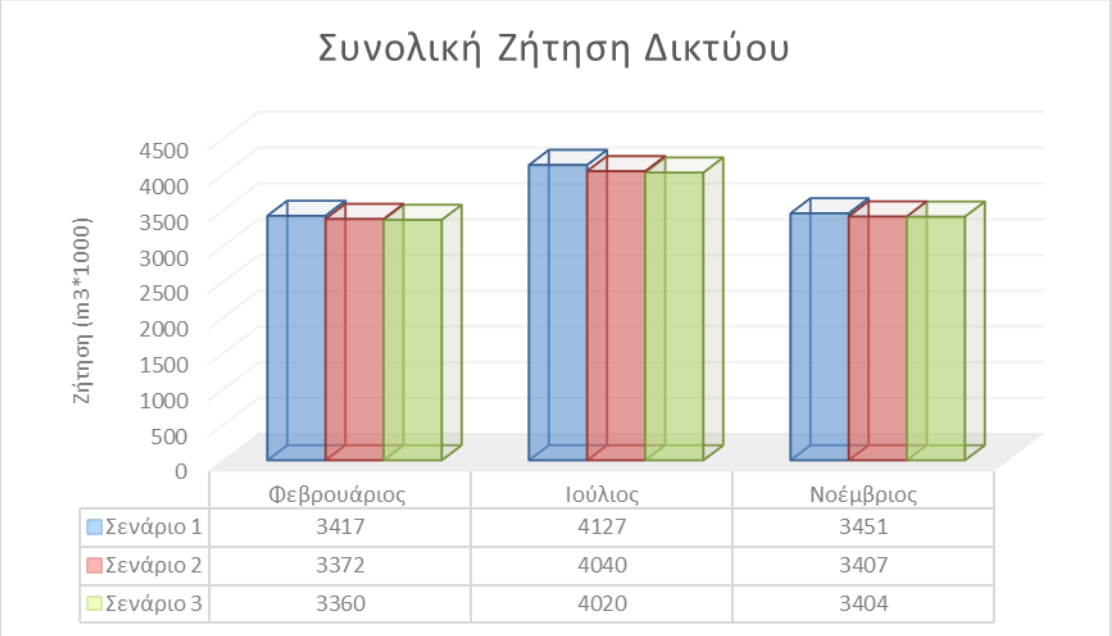


Γράφημα 68 Μέσος όρος ηλικίας του δικτύου (hrs)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 69 Μέσος όρος πίεσης του δικτύου (kPa)



Γράφημα 70 Συνολική ζήτηση του δικτύου σε m3

Με βάση τα γραφήματα συμπεραίνεται ότι ο χωρισμός σε στεγανές υποζώνες συντελεί στην ελάττωση της πίεσης σε ικανοποιητικό βαθμό, ενώ παράλληλα μειώνεται η ηλικία του νερού γεγονός μη αναμενόμενο αλλά ιδιαίτερα ευχάριστο. Ωστόσο με την εφαρμογή PRVs παρατηρείται μια άνοδος της ηλικίας του δικτύου η οποία ωστόσο δεν αποτελεί αρνητικό παράγοντα , αντιθέτως έγινε με στόχο τη βελτίωση της πίεσης στο δίκτυο η οποία πρέπει να φτάνει κάποια όρια (2 atm). Στην περίπτωση της ηλικίας του νερού εντοπίζεται μια μικρή αύξηση χωρίς επίσης να καταλογίζεται ως αρνητική τροπή στην προσπάθεια βέλτιστης διαχείρισης του δικτύου.

Σχετικά με την κατανάλωση παρατηρήθηκε σημαντική μείωση με το χωρισμό σε υποζώνες αλλά και με την προσθήκη των PRVs. Το παραπάνω είναι απόλυτα λογικό από την στιγμή ότι το δίκτυο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

χαρακτηρίζεται Pressure Dependent Demand (PDD) και επομένως η μείωση της πίεσης στο δίκτυο οδηγεί σε μείωση της ζήτησης. Τέλος, επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών λόγω θραύσεων από τις υψηλές πιέσεις.

Συγκριτικά διαγράμματα

Τα γραφήματα που ακολουθούν απεικονίζουν:

- την μέγιστη/μέση ηλικία των κρίσιμων κόμβων ανά DMA και σενάριο
- την ελάχιστη/μέγιστη τιμή πίεσης ανά DMA και σενάριο

Μέσω των γραφημάτων (εκτός των πινάκων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο) συμπεραίνουμε ότι στις DMAs: M, 5 τον μήνα Φεβρουάριο, 4K τους μήνες Ιούλιο και Νοέμβριο, K-1, K-2,K-3 τον Φεβρουάριο, 13, 12 τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο, 7 και 6 η ηλικία έχει συμπεριφορά πτώσης μετά τον χωρισμό σε στεγανές υπόζωνες αλλά και μετά την προσθήκη των PRVs. Γεγονός το οποίο είναι ωφέλιμο για τους κατοίκους των περιοχών αυτών, καθώς στις περισσότερες εξ' αυτών είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού.

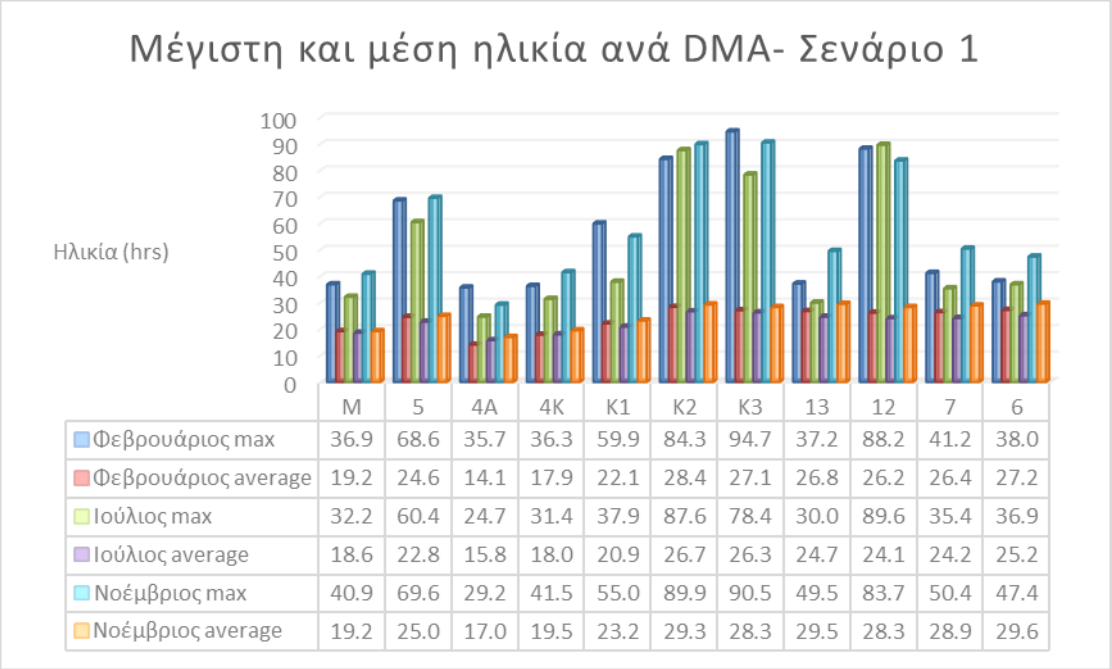
Ενώ στις DMA 5 τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο καθώς και στην 12 τον μήνα Νοέμβριο η ηλικία μειώνεται έπειτα από το χωρισμό στο δίκτυο, αυξάνεται ανεπαίσθητα μετά την τοποθέτηση PRVs χωρίς ωστόσο αυτή η άνοδος να είναι σημαντική και να επιφέρει οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή.

Τέλος, μονάχα οι DMA 4A αλλά και η 12 τον μήνα Νοέμβριο έχουν την αναμενόμενη συμπεριφορά στην ηλικία του νερού που προσφέρεται στους τελικούς χρήστες, δηλαδή ανοδική τιμή στην ηλικία του νερού. Ο χωρισμός του δικτύου σε στεγανές υποζώνες γίνεται με σκοπό τη επίτευξη μείωσης στη πίεση σε τέτοιο βαθμό που θα ικανοποιούνται οι ανάγκες των καταναλωτών. Η μείωση της πίεσης είναι αναμενόμενο να επιδράσει αρνητικά στην ηλικία του νερού. Η επίδραση όμως αυτή συντελείται σε μικρό βαθμό και εξακολουθεί να είναι φρέσκο το νερό.

7.5.6. Μέγιστη και μέση ηλικία ανά DMA- Σενάριο 1,2,3

Συγκεντρωτικά λοιπόν στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η μέγιστη και η μέση ηλικία ανά DMA στο σενάριο της αρχικής κατάστασης όπου δεν έχουμε καμία τμηματοποίηση του δικτύου ή καμία μέθοδο ρύθμισης της πίεσης.

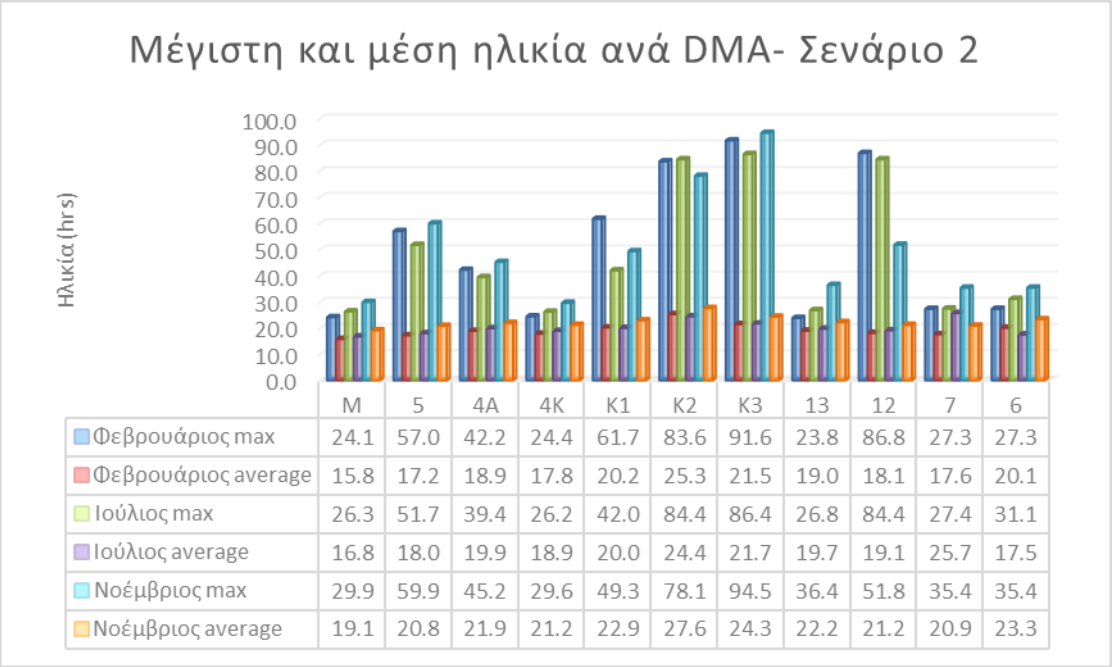
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



	M	5	4A	4K	K1	K2	K3	13	12	7	6
Φεβρουάριος max	36.9	68.6	35.7	36.3	59.9	84.3	94.7	37.2	88.2	41.2	38.0
Φεβρουάριος average	19.2	24.6	14.1	17.9	22.1	28.4	27.1	26.8	26.2	26.4	27.2
Ιούλιος max	32.2	60.4	24.7	31.4	37.9	87.6	78.4	30.0	89.6	35.4	36.9
Ιούλιος average	18.6	22.8	15.8	18.0	20.9	26.7	26.3	24.7	24.1	24.2	25.2
Νοέμβριος max	40.9	69.6	29.2	41.5	55.0	89.9	90.5	49.5	83.7	50.4	47.4
Νοέμβριος average	19.2	25.0	17.0	19.5	23.2	29.3	28.3	29.5	28.3	28.9	29.6

Γράφημα 71 Μέγιστη και μέση ηλικία ανά DMA- Σενάριο 1

Αντίστοιχα έχουμε την παρουσία συγκεντρωτικά μέγιστης και μέσης ηλικίας ανά περιοχή για το δεύτερο σενάριο όπου έχουν επιβληθεί οι στεγανές υποζώνες και έχει διαμερισματοποιηθεί το δίκτυο.

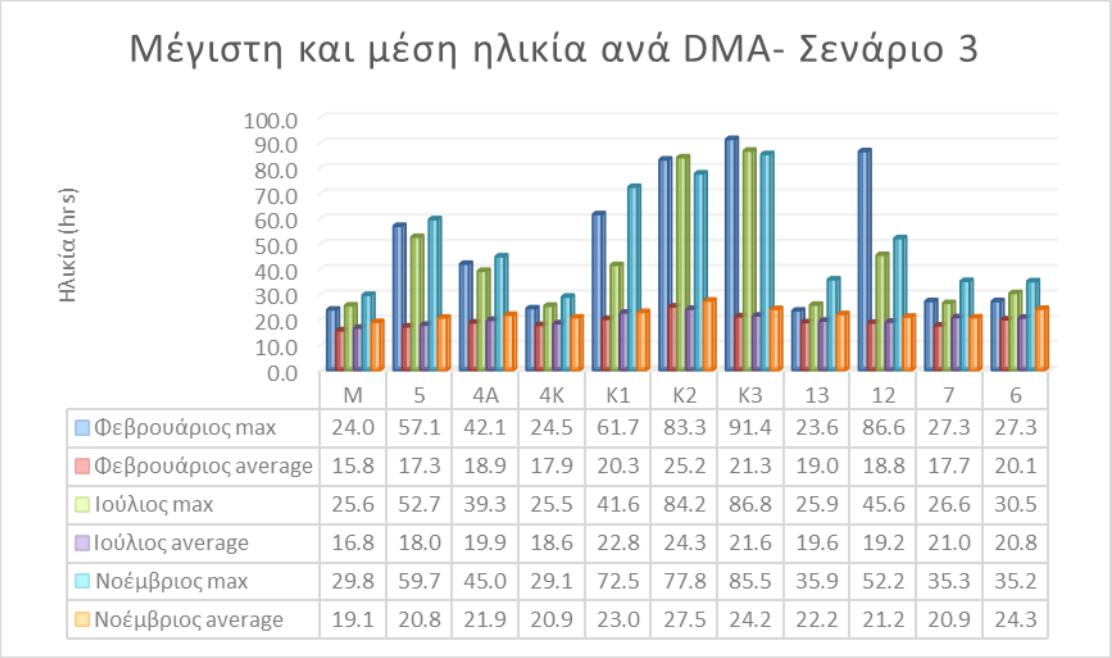


	M	5	4A	4K	K1	K2	K3	13	12	7	6
Φεβρουάριος max	24.1	57.0	42.2	24.4	61.7	83.6	91.6	23.8	86.8	27.3	27.3
Φεβρουάριος average	15.8	17.2	18.9	17.8	20.2	25.3	21.5	19.0	18.1	17.6	20.1
Ιούλιος max	26.3	51.7	39.4	26.2	42.0	84.4	86.4	26.8	84.4	27.4	31.1
Ιούλιος average	16.8	18.0	19.9	18.9	20.0	24.4	21.7	19.7	19.1	25.7	17.5
Νοέμβριος max	29.9	59.9	45.2	29.6	49.3	78.1	94.5	36.4	51.8	35.4	35.4
Νοέμβριος average	19.1	20.8	21.9	21.2	22.9	27.6	24.3	22.2	21.2	20.9	23.3

Γράφημα 72 Μέγιστη και μέση ηλικία ανά DMA- Σενάριο 2

Ενώ τελικώς παρακάτω στο γράφημα βλέπουμε τη μέγιστη και μέση ηλικία ανά περιοχή για το σενάριο και τις ρυθμίσεις της πίεσης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



	M	5	4A	4K	K1	K2	K3	13	12	7	6
Φεβρουάριος max	24.0	57.1	42.1	24.5	61.7	83.3	91.4	23.6	86.6	27.3	27.3
Φεβρουάριος average	15.8	17.3	18.9	17.9	20.3	25.2	21.3	19.0	18.8	17.7	20.1
Ιούλιος max	25.6	52.7	39.3	25.5	41.6	84.2	86.8	25.9	45.6	26.6	30.5
Ιούλιος average	16.8	18.0	19.9	18.6	22.8	24.3	21.6	19.6	19.2	21.0	20.8
Νοέμβριος max	29.8	59.7	45.0	29.1	72.5	77.8	85.5	35.9	52.2	35.3	35.2
Νοέμβριος average	19.1	20.8	21.9	20.9	23.0	27.5	24.2	22.2	21.2	20.9	24.3

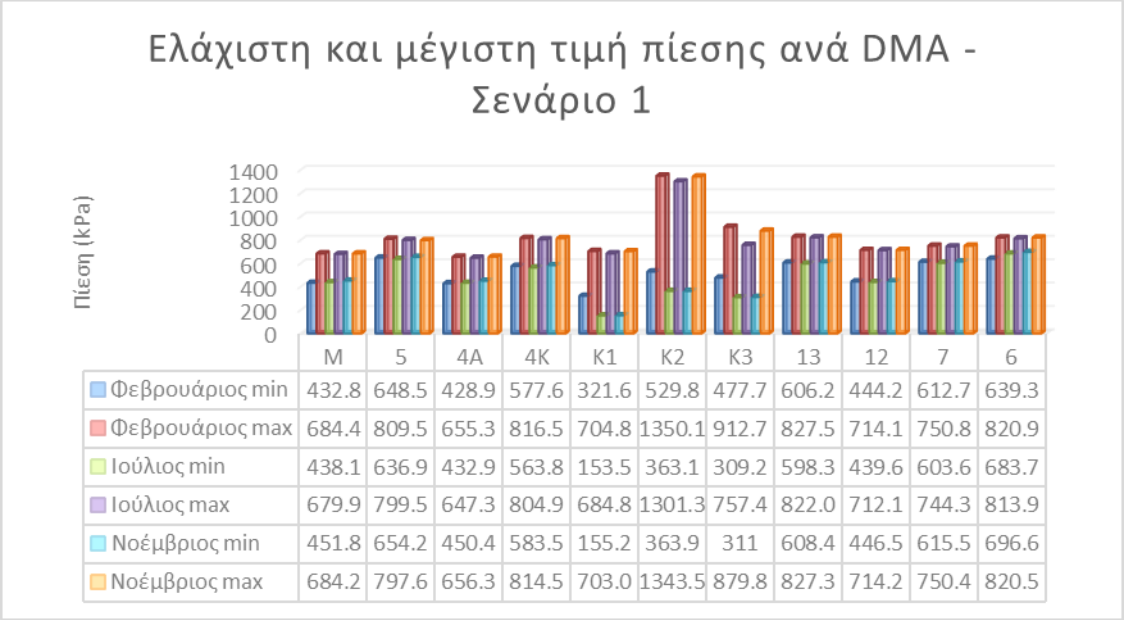
Γράφημα 73 Μέγιστη και μέση ηλικία ανά DMA- Σενάριο 3

Αξίζει να σημειώσουμε πώς οι ηλικίες διαφοροποιούνται ανάλογα με το κάθε σενάριο μελέτης. Παρατηρούμε με την επιβολή της τμηματοποίησης της κάθε ζώνης, να ομαλοποιούνται οι πιέσεις των μέσων τιμών ενώ τα μέγιστα να μην επηρεάζονται τόσο. Οι μέγιστες τιμές εξακολουθούν να υπάρχουν ελαφρώς διαφορετικές και στο τρίτο σενάριο της ρύθμισης της πίεσης, ενώ αυτό το οποίο φαίνεται με αρκετή παρατήρηση είναι ότι καθώς διαχωρίζεται το δίκτυο και ρυθμίζεται η πίεση έχουμε πολύ καλύτερη κατανομή της ηλικίας παντού έναντι του φαινομένου του να γηράσκουν περισσότερο οι περιοχές που είναι όλο και πιο μακριά από τις δεξαμενές που τροφοδοσίας.

7.5.7. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πίεσης ανά DMA – Σενάριο 1,2,3

Κατά τη στοιχεία της ηλικίας οφείλουμε να παρατηρήσουμε τι γίνεται και με την πίεση για κάθε σενάριο άρα παρακάτω έχουμε την παρουσίαση ελάχιστης και μέγιστης τιμής πίεσης ανά περιοχή στεγανής υποζώνης κατά την αρχική κατάσταση.

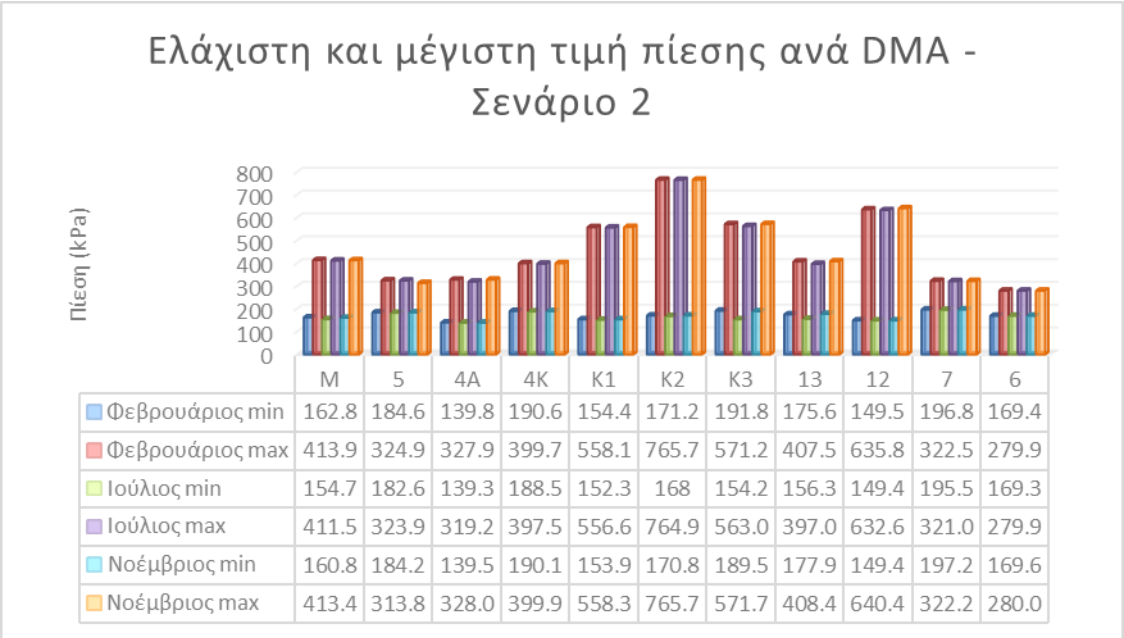
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



	M	5	4A	4K	K1	K2	K3	13	12	7	6
Φεβρουάριος min	432.8	648.5	428.9	577.6	321.6	529.8	477.7	606.2	444.2	612.7	639.3
Φεβρουάριος max	684.4	809.5	655.3	816.5	704.8	1350.1	912.7	827.5	714.1	750.8	820.9
Ιούλιος min	438.1	636.9	432.9	563.8	153.5	363.1	309.2	598.3	439.6	603.6	683.7
Ιούλιος max	679.9	799.5	647.3	804.9	684.8	1301.3	757.4	822.0	712.1	744.3	813.9
Νοέμβριος min	451.8	654.2	450.4	583.5	155.2	363.9	311	608.4	446.5	615.5	696.6
Νοέμβριος max	684.2	797.6	656.3	814.5	703.0	1343.5	879.8	827.3	714.2	750.4	820.5

Γράφημα 74 Ελάχιστη και μέγιστη τιμή πίεσης ανά DMA . Σενάριο 1

Ακολουθούν παρακάτω οι τιμές της ελάχιστης και μέγιστης πίεσης ανά στεγανή υποζώνη με την εφαρμογή των ορίων των ζωνών όπου έχουμε τα πρώτα πολύ σημαντικά δείγματα ρύθμισης της πίεσης.

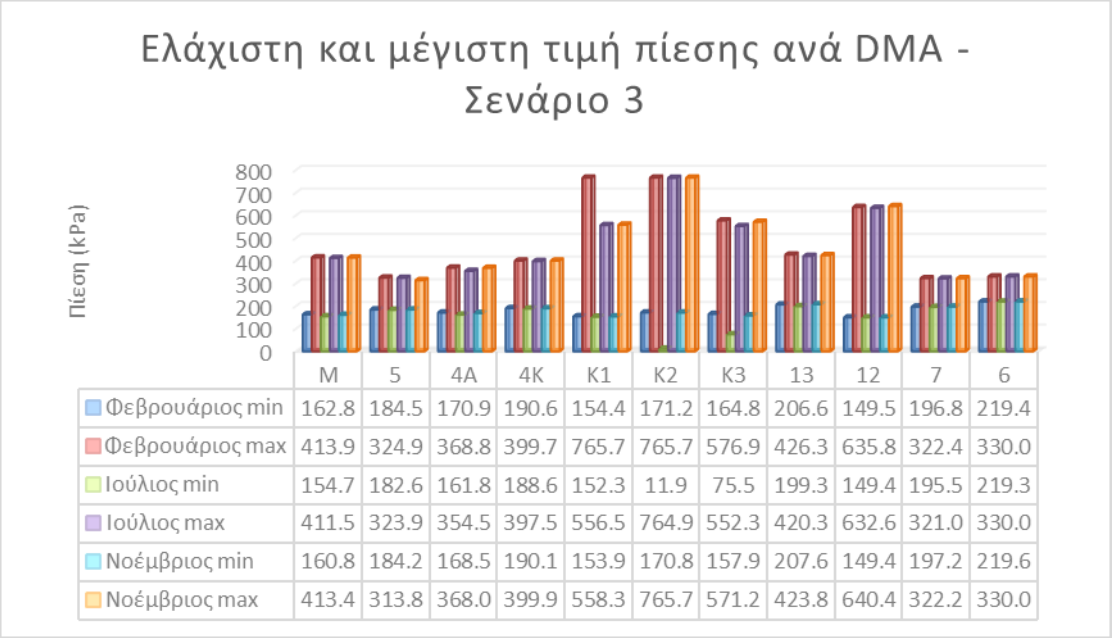


	M	5	4A	4K	K1	K2	K3	13	12	7	6
Φεβρουάριος min	162.8	184.6	139.8	190.6	154.4	171.2	191.8	175.6	149.5	196.8	169.4
Φεβρουάριος max	413.9	324.9	327.9	399.7	558.1	765.7	571.2	407.5	635.8	322.5	279.9
Ιούλιος min	154.7	182.6	139.3	188.5	152.3	168	154.2	156.3	149.4	195.5	169.3
Ιούλιος max	411.5	323.9	319.2	397.5	556.6	764.9	563.0	397.0	632.6	321.0	279.9
Νοέμβριος min	160.8	184.2	139.5	190.1	153.9	170.8	189.5	177.9	149.4	197.2	169.6
Νοέμβριος max	413.4	313.8	328.0	399.9	558.3	765.7	571.7	408.4	640.4	322.2	280.0

Γράφημα 75 Ελάχιστη και μέγιστη πίεση ανά DMA . Σενάριο 2

Ενώ τελικώς παρακάτω βλέπουμε τις τιμές της ελάχιστης μέγιστης πίεσης ανά στεγανή υποζώνη ενώ η πίεση έχει ρυθμιστεί με βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



	M	5	4A	4K	K1	K2	K3	13	12	7	6
Φεβρουάριος min	162.8	184.5	170.9	190.6	154.4	171.2	164.8	206.6	149.5	196.8	219.4
Φεβρουάριος max	413.9	324.9	368.8	399.7	765.7	765.7	576.9	426.3	635.8	322.4	330.0
Ιούλιος min	154.7	182.6	161.8	188.6	152.3	11.9	75.5	199.3	149.4	195.5	219.3
Ιούλιος max	411.5	323.9	354.5	397.5	556.5	764.9	552.3	420.3	632.6	321.0	330.0
Νοέμβριος min	160.8	184.2	168.5	190.1	153.9	170.8	157.9	207.6	149.4	197.2	219.6
Νοέμβριος max	413.4	313.8	368.0	399.9	558.3	765.7	571.2	423.8	640.4	322.2	330.0

Γράφημα 76 Ελάχιστη και μέγιστη τιμή πίεσης ανά DMA. Σενάριο 3

Με βάση τα γραφήματα παρατηρείται μείωση της ηλικίας με τον διαχωρισμό στο δίκτυο και την εφαρμογή των μειωτών πίεσης. Είναι εμφανές το γεγονός ότι η μεγαλύτερη τιμή ηλικίας του νερού εμφανίζεται το Νοέμβριο μήνα εποχή κατά την οποία υπάρχει μικρότερη παροχετευτική αναγκαιότητα αλλά και μεγαλύτερη επάρκεια σε νερό από τις πηγές. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι περιοχές Κ-1, Κ-1, Κ-3 και 12 παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ της μέγιστης τιμής ηλικίας και του μέσου όρου ηλικίας νερού της DMA που οφείλεται στην μεγάλη διακύμανση της ζήτησης που έχουν μεταξύ τους οι κόμβοι, διότι οι συγκεκριμένες περιοχές είναι απομακρυσμένες και δεν καλύπτουν υψηλές ζητήσεις. Πρόκειται κυρίως για περιοχές αναψυχής (πάρκο, άλσος, κλπ) και κεντρικούς δρόμους εξόδου από την πόλη.

Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση σ' ένα δίκτυο τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες εμφάνισης θραύσεων στους αγωγούς και εμφάνισης διαρροών. Άρα, ο χωρισμός του δικτύου σε DMAs έχει ευεργετικές επιδράσεις, καθώς από την μία οδηγεί σε μείωση της πίεσης και από την άλλη καθίσταται ευκολότερη η διαχείριση του δικτύου. Με την προσθήκη PRVs της στην είσοδο κάθε ζώνης μειώνεται η πίεση στα επίπεδα που ορίζει ο εκάστοτε διαχειριστής. Συγκεκριμένα, μετά την διαίρεση του δικτύου σε DMAs, η πίεση μειώθηκε σε σημαντικό βαθμό (σχεδόν 500 kPa κατά μέσο όρο μείωση στις ανώτατες τιμές), ενώ με την εφαρμογή των PRVs οι χαμηλότερες και πιο επιθυμητές τιμές έμειναν στα ίδια επίπεδα ή αυξήθηκαν ελάχιστα με σκοπό η λειτουργία του δικτύου να είναι πιο αποδοτική.

Σημειώνεται ότι η παρουσία πιέσεων που είναι οριακά μικρότερες από τα 200kPa δεν είναι κάτι ανησυχητικό, δεδομένου ότι οι περισσότεροι κόμβοι που εμφανίζουν αυτές τις τιμές είναι τερματικοί και η πίεσή τους επαρκεί για την κάλυψη των υδροδοτικών αναγκών τους. Τέλος, πολύ σημαντικό γεγονός για την υδραυλική ισορροπία του δικτύου αποτελεί η μείωση του φάσματος της διακύμανσης της πίεσης σε κάθε στεγανή υποζώνη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

7.5.8. Ρύθμιση της πίεσης των PRVs και διαμόρφωση της ηλικίας του νερού

Αναγνωρίζεται ότι η διαχείριση της πίεσης αποτελεί ίσως την σημαντικότερη παράμετρο για τον σχεδιασμό ενός δικτύου που συμβάλλει στην υδραυλική του ακεραιότητα και την εύρυθμη λειτουργία του. Υπενθυμίζεται πως υψηλές τιμές της πίεσης μπορεί οδηγήσουν σε φθορές στα διάφορα εξαρτήματα του δικτύου και στην εμφάνιση διαρροών. Μια πιθανή αστοχία αντλίας ή βαλβίδας θα οδηγήσει στην εμφάνιση χαμηλών πιέσεων που θα έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία εξυπηρέτησης της ζήτησης των καταναλωτών ή στην αδυναμία παροχής νερού για την κατάσβεση μιας πυρκαγιάς. Αναγκαία είναι η εφαρμογή μίας στρατηγικής ρύθμισης της πίεσης. Η προσθήκη PRVs σε ορισμένα σημεία του δικτύου αποτελεί έναν αποτελεσματικό και άμεσα υλοποιήσιμο τρόπο.

Το δίκτυο έχει μελετηθεί προηγουμένως εκτενώς, και ο χωρισμός του δικτύου σε DMAS έχει αναλυθεί και σε άλλες μελέτες. Συγκεκριμένα για κάθε στεγανή υποζώνη έχει επιλεγεί βαλβίδα μείωσης της πίεσης στη είσοδο της ζώνης για την οποία έχει ρυθμιστεί η λειτουργία της σταθερά μέσα στη διάρκεια της μέρας στις τιμές του παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 47 Αρχική ρύθμιση πιέσεων PRVs

DMA	RPV	Pressure Setting (Initial) (kPa)
DMA M	PRV-28	250
DMA 5	PRV-20	200
DMA 4A	-	-
DMA 4K	PRV-23	230
DMA K1	PRV-9	310
DMA K2	PRV-17	240
DMA K3	PRV-16	270
DMA 13	PRV-33	385
DMA 12	PRV-30	200
DMA 7	PRV-15	250
DMA 6	PRV-15	200

Ενώ οι αρχικές τιμές των πιέσεων φαίνονται στον παραπάνω πίνακα για να ελεγχθεί η συμπεριφορά της ζώνης ως προς την ηλικία έγιναν αυξήσεις της πίεσης των βαλβίδων ανά 10kpa. Οι τιμές της αύξησης όδευσαν μέχρι και επιπλέον 150 kPa. Αναμενόμενη είναι η αύξηση στην πίεση να προκαλεί μείωση στην ηλικία καθώς αυξάνεται η ποσότητα των εισερχόμενων κυβικών στο σύστημα. Έτσι, σταδιακά μέσω των γραφημάτων θα είναι εφικτό να εντοπιστεί η χρυσή τομή μεταξύ πίεσης και ηλικίας της κάθε ζώνης.

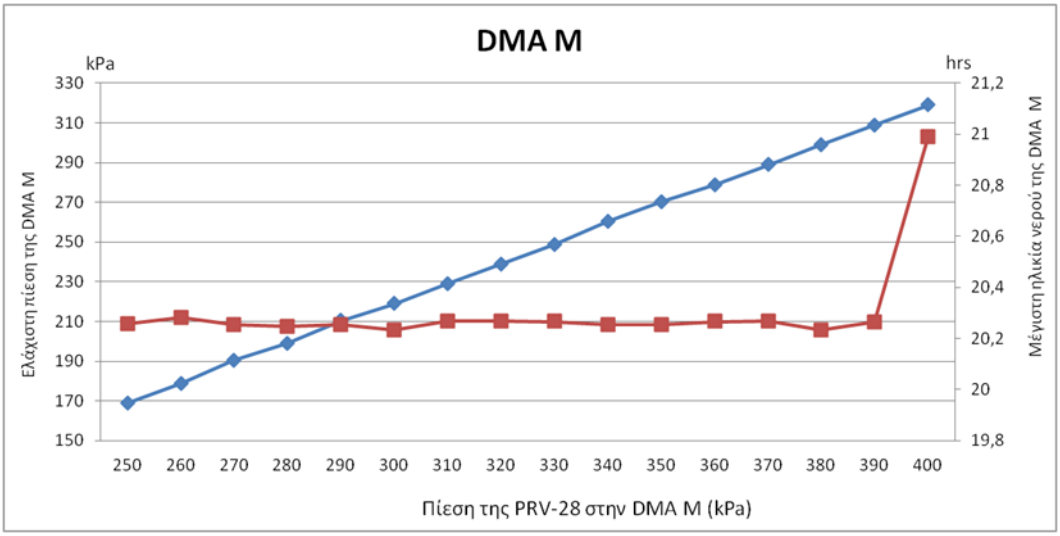
Και για τους 3 μήνες της ανάλυσης, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσίαζαν οι ζώνες M, 5, K-1 και K-2, αφού οι άλλες DMAs έχουν ίδια συμπεριφορά με τις παραπάνω. Οι ζώνες M και 5 αποτελούν κεντρικές περιοχές της πόλης που καλύπτουν την πλειοψηφία των χρηστών και έχουν αυξημένες υδατικές ανάγκες, ενώ οι K-1 και K-2 έχουν λιγότερο πληθυσμό με αποτέλεσμα μικρότερη ζήτηση και μειωμένη ανανέωση των υδάτων σε σύγκριση με τις άλλες δύο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Φεβρουάριος:

Πίνακας 48 Πίεση και ηλικία της DMA M ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Φεβρουάριος)

DMA M : PRV-28					
Po=	250	Pressure (kPa)	168,9	Age (hrs)	20,258
P1=	260		178,9		20,283
P2=	270		190,4		20,255
P3=	280		198,9		20,247
P4=	290		210,4		20,255
P5=	300		218,9		20,233
P6=	310		228,9		20,268
P7=	320		238,9		20,269
P8=	330		248,9		20,266
P9=	340		260,4		20,255
P10=	350		270,4		20,255
P11=	360		278,9		20,266
P12=	370		288,9		20,269
P13=	380		298,9		20,232
P14=	390		308,9		20,265
P15=	400		318,9		20,988



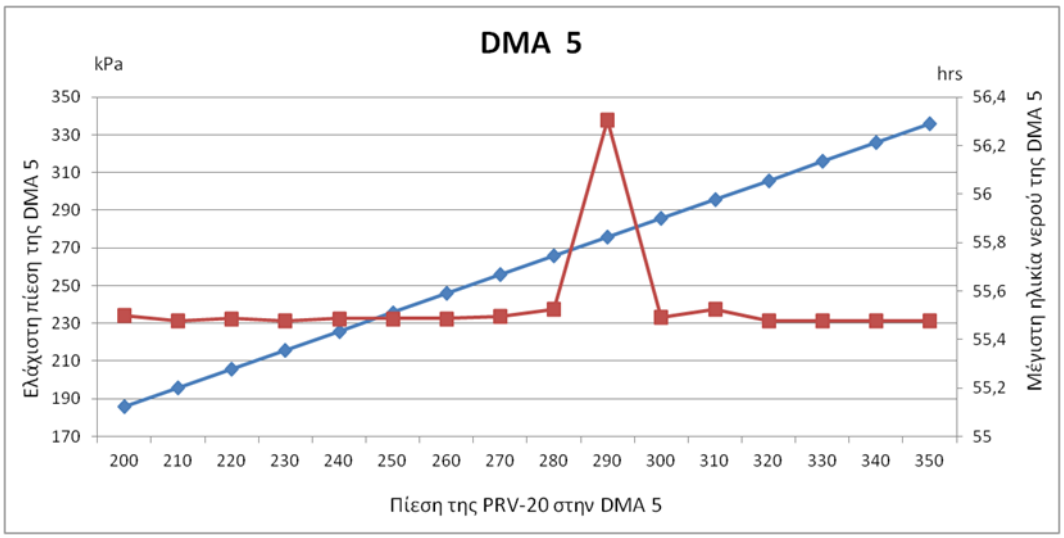
Γράφημα 77 Πίεση και ηλικία της DMA M ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Φεβρουάριος)

Όσον αφορά την ζώνη Μ, τον μήνα Φεβρουάριο το κρίσιμο σημείο μεταξύ πίεσης και ηλικίας βρίσκεται όταν η πίεση λειτουργίας της PRV28 έχει ρυθμιστεί στα 290 kPa (5^{η} περίπτωση). Στην συγκεκριμένη κατάσταση η μικρότερη τιμή της πίεσης που παρουσιάζεται στην ζώνη ισούται με 210,4 kPa και η τιμή της μέγιστης ηλικίας νερού ξεπερνάει τις 20 ώρες για ανάλυση 96 ωρών. Οι συγκεκριμένες τιμές είναι ιδανικές για την επίτευξη του στόχου της παρουσίας χαμηλών τιμών ηλικίας νερού και χαμηλών τιμών πίεσης στου κόμβους της DMA.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 49 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Φεβρουάριος)

DMA 5 : PRV-20					
Po=	200	Pressure (kPa)	185,8	Age (hrs)	55,498
P1=	210		195,8		55,476
P2=	220		205,8		55,486
P3=	230		215,8		55,477
P4=	240		225,8		55,486
P5=	250		235,8		55,486
P6=	260		245,8		55,486
P7=	270		255,8		55,494
P8=	280		265,8		55,526
P9=	290		275,8		56,306
P10=	300		285,8		55,493
P11=	310		295,8		55,526
P12=	320		305,8		55,476
P13=	330		315,8		55,476
P14=	340		325,8		55,476
P15=	350		335,8		55,477



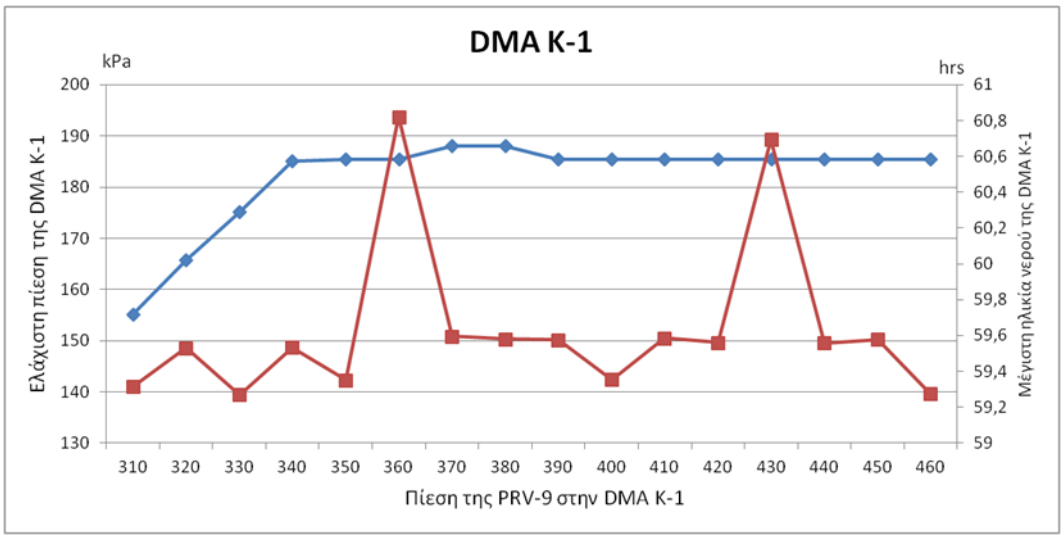
Γράφημα 78 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Φεβρουάριος)

Όσον αφορά την ζώνη 5 το κρίσιμο σημείο βρίσκεται όταν η πίεση λειτουργίας της PRV-20 λαμβάνει την τιμή 250kPa (5^{η} Περίπτωση). Η μικρότερη τιμή της πίεσης που εντοπίζεται ισούται με 235,8 kPa και η τιμή της μέγιστης ηλικία στους κόμβους ξεπερνάει τις 55 ώρες για ανάλυση 96 ωρών. Στην προκειμένη περίπτωση ικανοποιείται ο στόχος της παρουσίας χαμηλών τιμών ηλικίας νερού και χαμηλών πιέσεων μιας πολυπληθούς και πολυσύχναστης περιοχής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 50 Πίεση και ηλικία της DMA K-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Φεβρουάριος)

DMA K-1 : PRV-9					
Po=	310	Pressure (kPa)	155,1	Age (hrs)	59,315
P1=	320		165,7		59,531
P2=	330		175,1		59,268
P3=	340		185,1		59,534
P4=	350		185,4		59,351
P5=	360		185,4		60,82
P6=	370		188,1		59,595
P7=	380		188,1		59,58
P8=	390		185,4		59,575
P9=	400		185,4		59,353
P10=	410		185,4		59,585
P11=	420		185,4		59,56
P12=	430		185,4		60,693
P13=	440		185,4		59,559
P14=	450		185,4		59,576
P15=	460		185,4		59,274



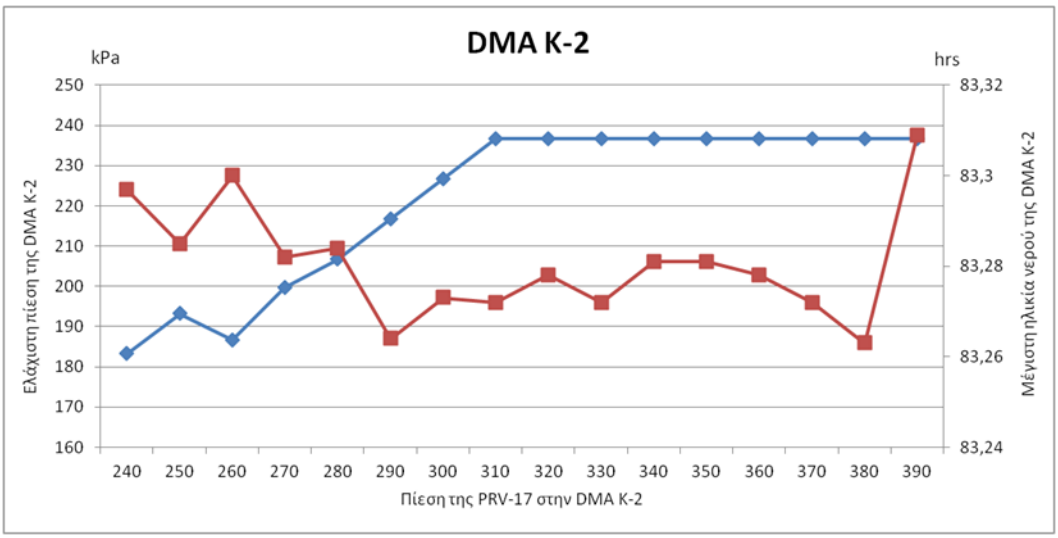
Γράφημα 79 Πίεση και ηλικία της DMA K-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Φεβρουάριος)

Όσον αφορά την ζώνη K-1 το βέλτιστο σημείο βρίσκεται όταν η PRV-9 είναι ρυθμισμένη στα 360kPa (6η Περίπτωση). Η ελάχιστη τιμή πίεσης παροχής που εμφανίζεται στην υποζώνη ισούται με 185,4kPa και μέγιστη τιμή της ηλικίας του νερού ξεπερνάει τις 60 ώρες για 96 ώρες ανάλυσης. Παρότι εμφανίζεται πίεση στην ζώνη χαμηλότερη των 200kPa, δεν προκύπτει κάποια αρνητική επίδραση στην λειτουργία του δικτύου, καθώς αφορά έναν μόνο κόμβο που έχει μικρή ζήτηση. Συγκρίνοντας την ηλικία μ αυτές που υπολογίστηκαν για τις ζώνες Μ και 5 παρατηρείται ότι είναι εμφανώς μεγαλύτερη. Βέβαια αυτό είναι απόλυτα λογικό, καθώς η ζήτηση της συγκεκριμένης περιοχής είναι σαφώς μικρότερη σε σύγκριση με τις άλλες δύο, με αποτέλεσμα να παραμένει περισσότερη ώρα το στάσιμο εντός των αγωγών. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι ο χρόνος παραμονής είναι τόσο μεγάλος που να μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα υποβάθμισης της ποιότητας του νερού που παρέχεται στους καταναλωτές.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 51 Πίεση και ηλικία της DMA K-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Φεβρουάριος)

DMA K-2 : PRV-17					
Po=	240	Pressure (kPa)	183,2	Age (hrs)	83,297
P1=	250		193,2		83,285
P2=	260		186,7		83,3
P3=	270		199,7		83,282
P4=	280		206,7		83,284
P5=	290		216,7		83,264
P6=	300		226,7		83,273
P7=	310		236,7		83,272
P8=	320		236,7		83,278
P9=	330		236,7		83,272
P10=	340		236,7		83,281
P11=	350		236,7		83,281
P12=	360		236,7		83,278
P13=	370		236,7		83,272
P14=	380		236,7		83,263
P15=	390		236,7		83,309



Γράφημα 80 Πίεση και Ηλικία της DMA K-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Φεβρουάριος)

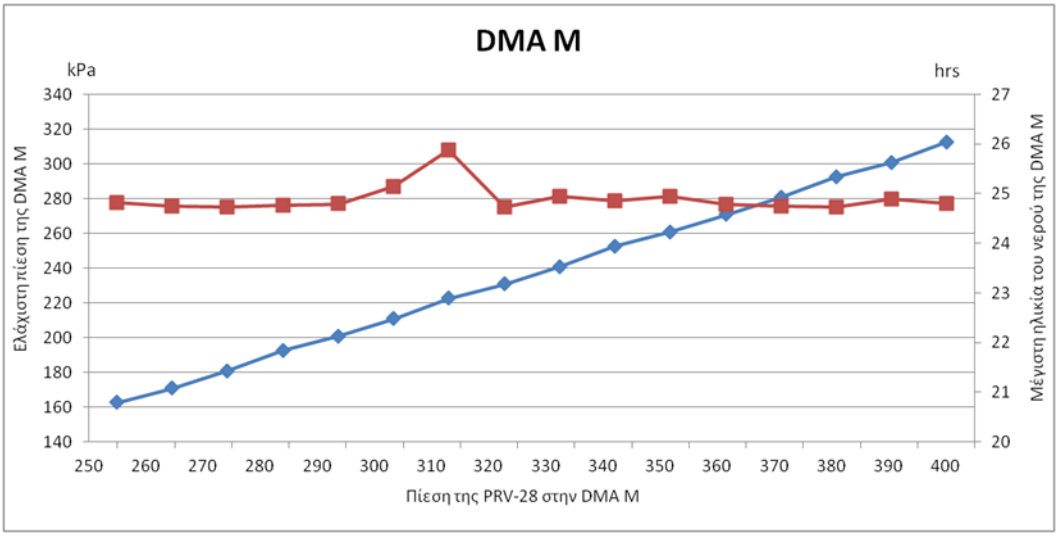
Στην περίπτωση της ζώνης K-2, το βέλτιστο σημείο βρίσκεται όταν η πίεση λειτουργίας της PRV17 ισούται με 280 kPa (5η Περίπτωση). Η χαμηλότερη τιμής πίεσης στην υποζώνη ισούται με 206,7kPa και τιμής της ηλικίας ξεπερνάει τις 83 ώρες για ανάλυση 96 ωρών . Παρότι η τιμή της ηλικίας είναι σχετικά υψηλή, το γεγονός ότι εμφανίζεται σε κόμβους χαμηλής ζήτησης που είναι απομακρυσμένοι, δεν προκαλεί ανησυχία. Επίσης λαμβάνοντας υπόψιν τον χρόνο ανάλυσης μπορεί να υποστηριχτεί ότι η ηλικία του νερού βρίσκεται εντός επιτρεπτών ορίων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Ιούλιος:

Πίνακας 52 Πίεση και ηλικία της DMA M ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Ιούλιος)

DMA M : PRV-28					
Po=	250	Pressure (kPa)	162,5	Age (hrs)	24,824
P1=	260		170,7		24,745
P2=	270		180,7		24,721
P3=	280		192,5		24,767
P4=	290		200,7		24,792
P5=	300		210,7		25,135
P6=	310		222,5		25,875
P7=	320		230,7		24,721
P8=	330		240,7		24,939
P9=	340		252,5		24,853
P10=	350		260,7		24,939
P11=	360		270,7		24,785
P12=	370		280,7		24,745
P13=	380		292,5		24,722
P14=	390		300,7		24,888
P15=	400		312,5		24,795



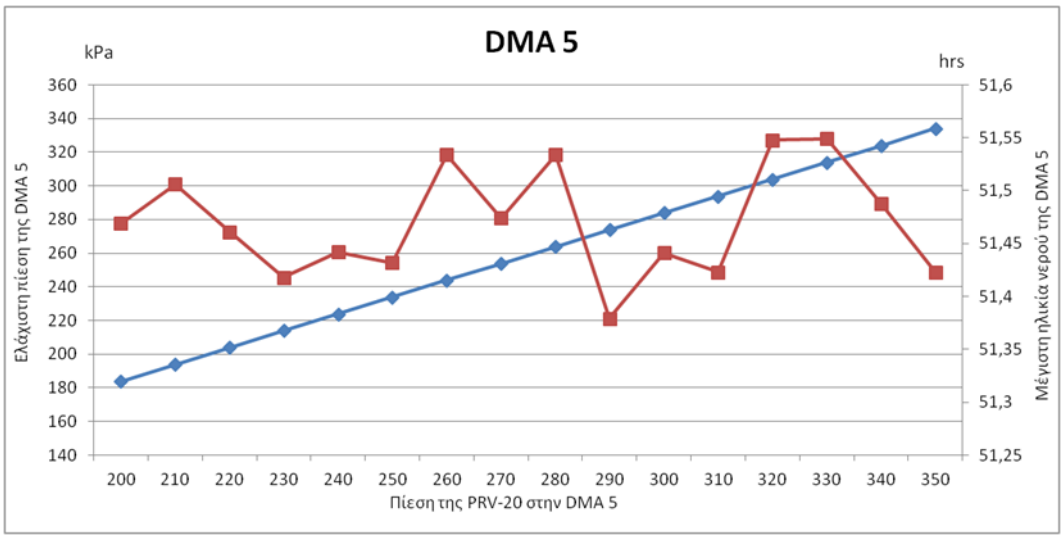
Γράφημα 81 Πίεση και ηλικία της DMA M ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Ιούλιος)

Για την DMA M, το βέλτιστο σημείο βρίσκεται όταν η πίεση της PRV-28 ρυθμίζεται να λειτουργεί στα 360kPa (11^{η} Περίπτωση), με την μικρότερη πίεση της υποζώνης να προσεγγίζει τα 270 kPa και η τιμή της μέγιστης ηλικίας να ξεπερνάει τις 24 ώρες για 96 ώρες ανάλυσης. Είναι σαφές ότι η πίεση της βαλβίδας πρέπει να ρυθμιστεί σε πολύ υψηλότερη τιμή από την αρχική ρύθμιση. Η ελάχιστη πίεση της DMA κρίνεται ικανοποιητική όπως και η τιμή της ηλικίας σ' αυτήν.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 53 Πίεση και ηλικίας της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Ιούλιος)

DMA 5 : PRV-20					
Po=	200	Pressure (kPa)	183,9	Age (hrs)	51,469
P1=	210		193,9		51,506
P2=	220		203,9		51,461
P3=	230		213,9		51,418
P4=	240		223,9		51,442
P5=	250		233,9		51,432
P6=	260		243,9		51,534
P7=	270		253,9		51,474
P8=	280		263,9		51,534
P9=	290		273,9		51,379
P10=	300		283,9		51,441
P11=	310		293,9		51,423
P12=	320		303,9		51,548
P13=	330		313,9		51,549
P14=	340		323,9		51,488
P15=	350		334		51,423



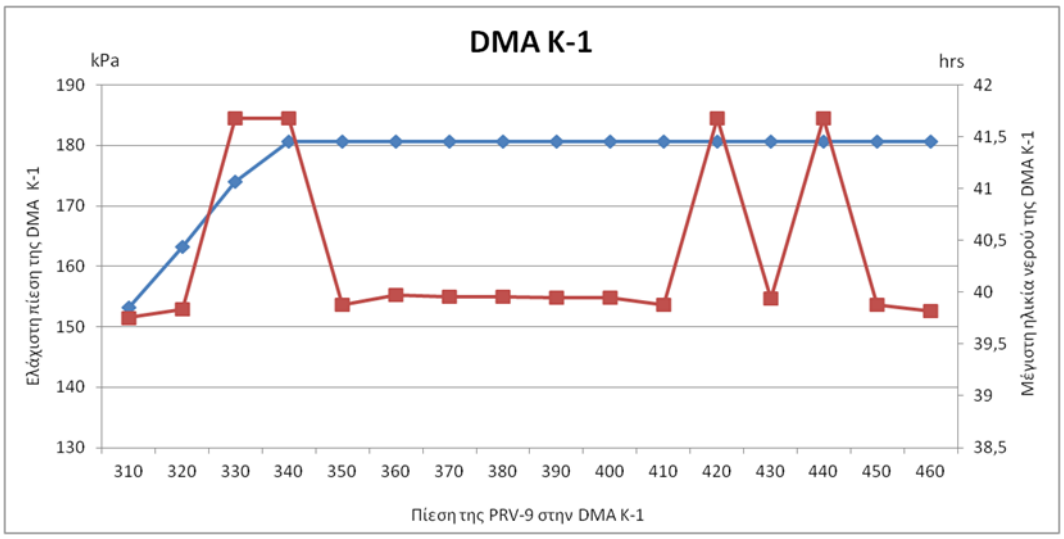
Γράφημα 82 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Ιούλιος)

Με βάση το γράφημα παραπάνω γίνεται ο προσδιορισμός του βέλτιστου σημείου με ρύθμιση λειτουργίας της PRV-20 στο φάσμα των 280 και 290 kPa (9^{η} και 10^{η} περίπτωση). Η ελάχιστη τιμή της πίεσης στην υποζώνη ανήκει στο εύρος 274 και 284 kPa και η ηλικία διαμορφώνεται λίγο πάνω από τις 51 ώρες για την ανάλυση 96 ωρών. Στη συγκεκριμένη περίσταση, η ρυθμιζόμενη πίεση της βαλβίδας έχει ρυθμιστεί να είναι υψηλότερη από την καθορισμένη και το αποτέλεσμα είναι σαφώς ικανοποιητικό.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 54 Πίεση και ηλικίας της DMA K-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Ιούλιος)

DMA K-1 : PRV-9					
Po=	310	Pressure (kPa)	153,2	Age (hrs)	39,754
P1=	320		163,2		39,837
P2=	330		174		41,676
P3=	340		180,6		41,676
P4=	350		180,6		39,876
P5=	360		180,6		39,973
P6=	370		180,6		39,953
P7=	380		180,6		39,953
P8=	390		180,6		39,947
P9=	400		180,6		39,947
P10=	410		180,6		39,876
P11=	420		180,6		41,676
P12=	430		180,6		39,937
P13=	440		180,6		41,676
P14=	450		180,6		39,876
P15=	460		180,6		39,815



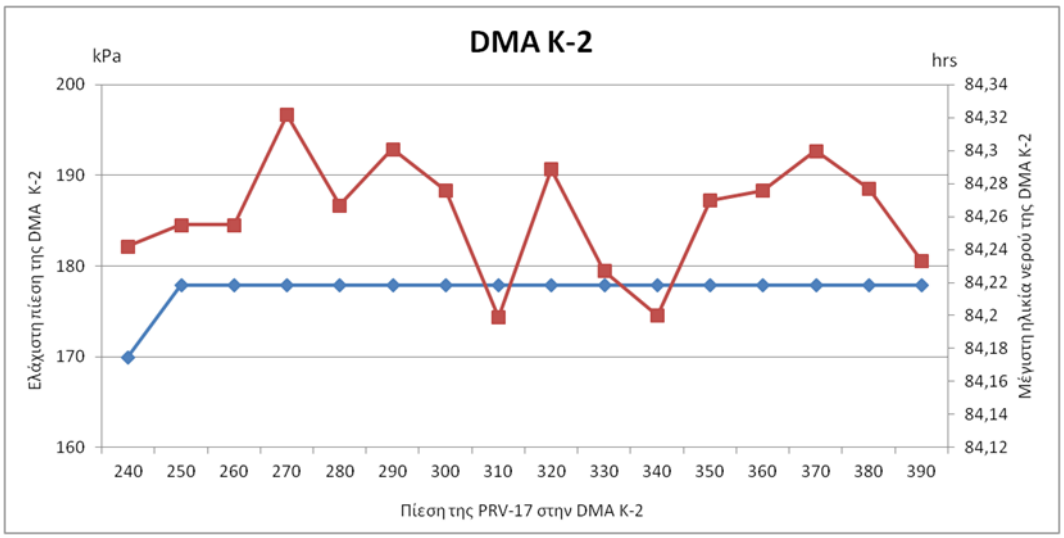
Γράφημα 83 Πίεση και ηλικία της DMA K-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Ιούλιος)

Για την υποζώνη K-1, παρατηρήθηκε ότι από ένα ορισμένο σημείο και μετά, η αύξηση της πίεσης λειτουργίας στην PRV9, δεν επηρέαζε την ελάχιστη πίεση στην ζώνη, η οποία παρέμενε σταθερή (180,6 kPa). Ωστόσο, δεν επηρεάζεται αρνητικά η λειτουργία στην DMA, ούτε στο δικτύο ευρύτερα καθώς αφορά τον κρίσιμο κόμβο της ζώνης και όχι όλους τους κόμβους που τη συνθέτουν. Επομένως, το βέλτιστο σημείο βρίσκεται για πίεση λειτουργίας της PRV μεταξύ 320 και 330 kPa (2η και 3η περίπτωση), με την ηλικία να ξεπερνάει τις 40 ώρες (η τιμή προέκυψε μέσω γραμμικής παρεμβολής).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 55 Πίεση και ηλικία της DMA K-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Ιούλιος)

DMA K-2 : PRV-17					
Po=	240	Pressure (kPa)	170	Age (hrs)	84,242
P1=	250		177,9		84,255
P2=	260		177,9		84,255
P3=	270		177,9		84,322
P4=	280		177,9		84,267
P5=	290		177,9		84,301
P6=	300		177,9		84,276
P7=	310		177,9		84,199
P8=	320		177,9		84,289
P9=	330		177,9		84,227
P10=	340		177,9		84,2
P11=	350		177,9		84,27
P12=	360		177,9		84,276
P13=	370		177,9		84,3
P14=	380		177,9		84,277
P15=	390		177,9		84,233



Γράφημα 84 Πίεση και ηλικία της DMA K-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Ιούλιος)

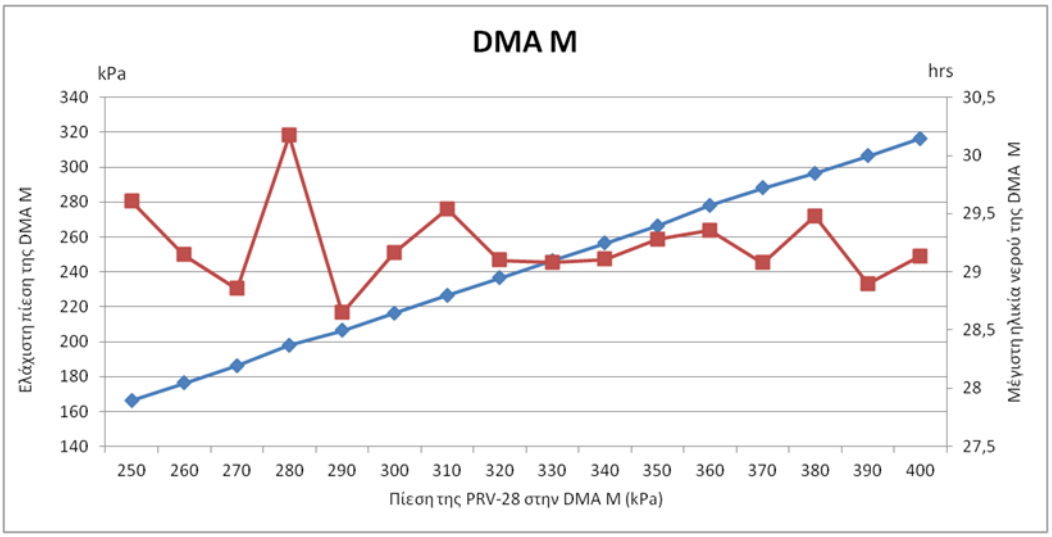
Ακόμη, για την υποζώνη K-2, η πίεση δεν μεταβάλλεται και ισούται με 180 kPa σ' όλες τις περιπτώσεις ρύθμισης της βαλβίδας εκτός της πρώτης. Αυτό οδηγεί στην εμφάνιση μικρής διακύμανσης της ηλικίας του νερού. Επομένως, το βέλτιστο σημείο της υποζώνης βρίσκεται για πίεση λειτουργίας της PRV-17 ($8^{η}$ Περίπτωση) ίση με 310 kPa, όπου η ηλικία του νερού διαμορφώνεται ίση με 89,199 ώρες και η ελάχιστη πίεση ίση με 177,9 kPa για ανάλυση 96 ωρών. Σημειώνεται ότι για την DMA K-2 η ελάχιστη πίεση που επιτυγχάνεται είναι ελαφρώς μικρότερη από το επιτρεπτό όριο των 200 kPa και η αύξηση στην ηλικία του νερού είναι σημαντική σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ζώνες. Το αποτέλεσμα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αρνητικό, καθώς μια πίεση της τάξης των 180 kPa μπορεί να καλύψει τις ανάγκες ύδρευσης, ενώ και η σχετικά μεγάλη τιμή της ηλικίας του νερού επιβεβαιώνει ότι η κατανάλωση στην περιοχή είναι σχετικά χαμηλή, όπως επίσης και ότι η απόσταση των δεξαμενών (που είναι υπεύθυνες για την υδροδότηση του δικτύου) από τη ζώνη είναι σημαντική.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Νοέμβριος:

Πίνακας 56 Πίεση και ηλικία της DMA M ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Νοέμβριος)

DMA M : PRV-28					
Po=	250	Pressure (kPa)	166,2	Age (hrs)	29,605
P1=	260		176,2		29,146
P2=	270		186,2		28,854
P3=	280		197,8		30,172
P4=	290		206,3		28,649
P5=	300		216,3		29,163
P6=	310		226,3		29,538
P7=	320		236,3		29,1
P8=	330		246,3		29,08
P9=	340		256,3		29,108
P10=	350		266,3		29,28
P11=	360		277,9		29,355
P12=	370		287,9		29,076
P13=	380		296,3		29,477
P14=	390		306,3		28,896
P15=	400		316,3		29,135



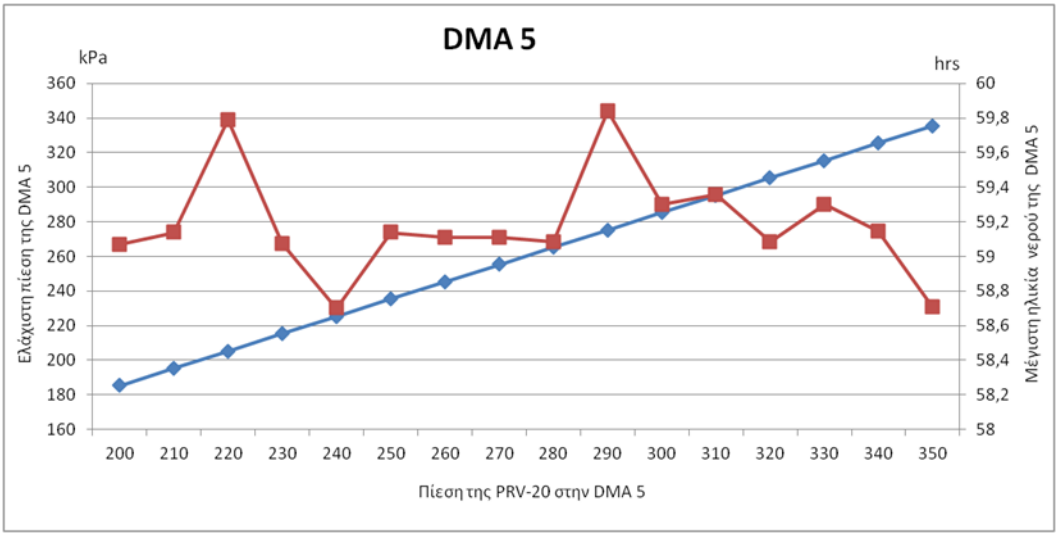
Γράφημα 85 Πίεση και ηλικία της DMA M ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 28 (Νοέμβριος)

Όσον αφορά την υποζώνη Μ, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της βαλβίδας είναι μεταξύ 320 και 330 kPa, με την ελάχιστη πίεση της DMA λαμβάνει τιμές στο εύρος των τιμών 236,2 και 246,2 kP, ενώ η τιμή της ηλικίας του νερού ξεπερνάει οριακά τις 29 ώρες για ανάλυση 96 ωρών. Στη περίπτωση αυτή, εξασφαλίζεται επιθυμητή τιμή πίεσης στην DMA, ενώ παράλληλα το νερό που παρέχεται στο καταναλωτές χαρακτηρίζεται φρέσκο .

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 57 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Νοέμβριο)

DMA 5 : PRV-20					
Po=	200	Pressure (kPa)	185,3	Age (hrs)	59,069
P1=	210		195,3		59,138
P2=	220		205,3		59,791
P3=	230		215,3		59,072
P4=	240		225,3		58,701
P5=	250		235,3		59,138
P6=	260		245,3		59,112
P7=	270		255,3		59,112
P8=	280		265,3		59,086
P9=	290		275,3		59,843
P10=	300		285,4		59,3
P11=	310		295,4		59,357
P12=	320		305,4		59,086
P13=	330		315,4		59,3
P14=	340		325,4		59,147
P15=	350		335,4		58,708



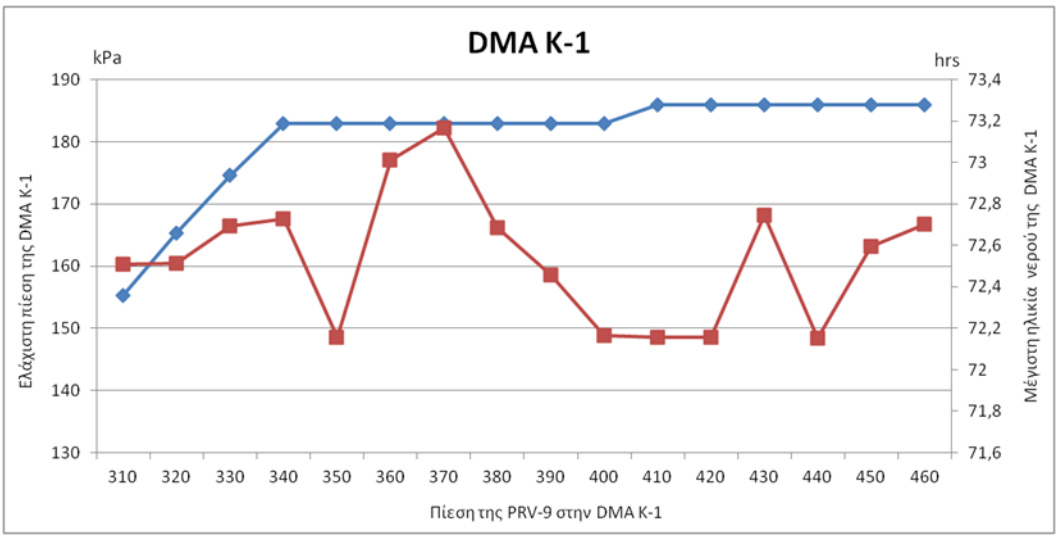
Γράφημα 86 Πίεση και ηλικία της DMA 5 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 20 (Νοέμβριος)

Σχετικά με την υποζώνη 5, όταν η πίεση της PRV20 ρυθμίζεται στα 240 kPa (5^{η} περίπτωση) η τιμή της ελάχιστης πίεσης στην DMA ισούται με 225 kPa και η μέγιστη ηλικία προσεγγίζει τις 59 ώρες για ανάλυση 96 ωρών. Αν ληφθεί υπόψιν ότι πρόκειται για μία περιοχή με υψηλή ζήτηση, η τιμή της πίεσης χαρακτηρίζεται κατάλληλη για την καλή λειτουργία του δικτύου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 58 Πίεση και ηλικία της DMA K-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Νοέμβριος)

DMA K-1 : PRV-9					
Po=	310	Pressure (kPa)	155,3	Age (hrs)	72,507
P1=	320		165,3		72,515
P2=	330		174,6		72,694
P3=	340		183		72,726
P4=	350		183		72,155
P5=	360		183		73,012
P6=	370		183		73,166
P7=	380		183		72,687
P8=	390		183		72,459
P9=	400		183		72,166
P10=	410		185,9		72,158
P11=	420		185,9		72,155
P12=	430		185,9		72,745
P13=	440		185,9		72,153
P14=	450		185,9		72,593
P15=	460		185,9		72,701



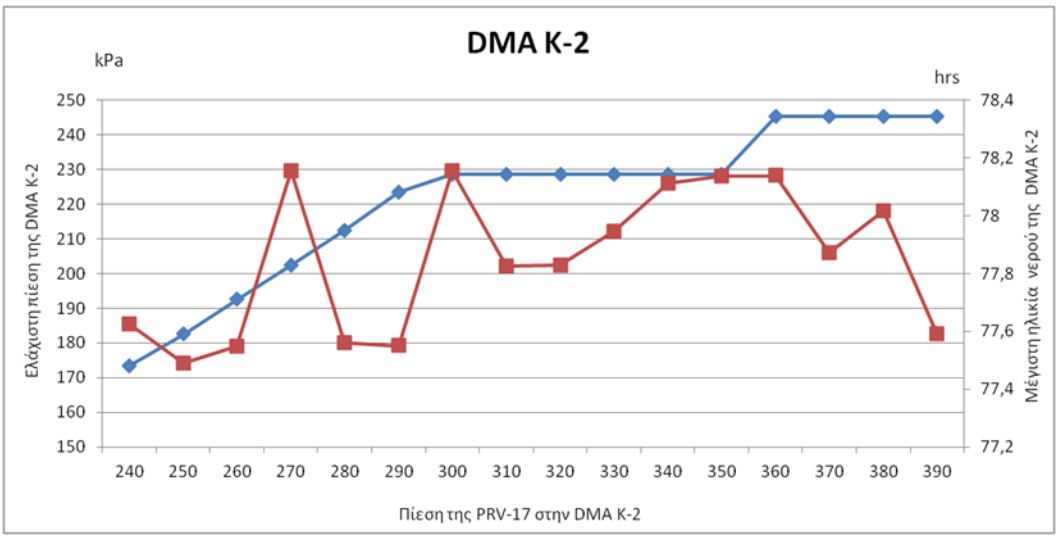
Γράφημα 87 Πίεση και ηλικία της DMA K-1 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 9 (Νοέμβριος)

Στην DMA K-1 το βέλτιστο σημείο εντοπίζεται όταν η πίεση στην PRV9 ρυθμίζεται στα 370kPa (7η περίπτωση) με την τιμή της ελάχιστης πίεσης να διαμορφώνεται στα 183 kPa και την τιμή της μέγιστης ηλικίας να ξεπερνάει τις 73 ώρες για ανάλυση 96 ωρών. Επισημαίνεται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις αλλαγής της ρύθμισης στην πίεση της PRV, η τιμή της ελάχιστης πίεσης στην υποζώνη δεν μεταβαλλόταν, μέχρι να εμφανιστεί μια μικρή άνοδος και σταθεροποιηθεί ξανά. Το φαινόμενο ηλικία-πίεση από τη μία πλευρά ικανοποιεί τις ανάγκες των χρηστών και από την άλλη επιβεβαιώνει την αντίστροφη σχέση πίεσης-ηλικίας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 59 Πίεση και ηλικία της DMA K-2 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Νοέμβριος)

DMA K-2 : PRV-17					
Po=	240	Pressure (kPa)	173,4	Age (hrs)	77,625
P1=	250		182,5		77,49
P2=	260		192,5		77,548
P3=	270		202,5		78,154
P4=	280		212,5		77,562
P5=	290		223,4		77,55
P6=	300		228,5		78,155
P7=	310		228,5		77,826
P8=	320		228,5		77,828
P9=	330		228,5		77,946
P10=	340		228,5		78,113
P11=	350		228,5		78,136
P12=	360		245,2		78,138
P13=	370		245,2		77,871
P14=	380		245,2		78,016
P15=	390		245,2		77,593



Γράφημα 88 Πίεση και ηλικία της DMA K-4 ανάλογα με τη ρύθμιση της PRV 17 (Νοέμβριος)

Στην υποζώνη K-2, για ρύθμιση στην πίεση της PRV17 στα 260 kPa (3η περίπτωση) η ελάχιστη τιμή της πίεσης στην υποζώνη ξεπερνάει τα 192 kPa και η τιμή της μέγιστης ηλικίας ισούται περίπου με 77 ώρες για ανάλυση 96 ωρών. Η ηλικία έχει αυξηθεί συγκρίνοντάς την με τις υπόλοιπες ζώνες αλλά, όπως έχει επισημανθεί παραπάνω, δεν αποτελεί ανησυχητική ένδειξη για την ποιότητα του νερού και οφείλεται στην τοπολογία της περιοχής.

Τελικά, συμπεραίνεται η ρύθμιση των βαλβίδων σε υψηλότερες τιμές ήταν απαραίτητη για να προσεγγιστεί το βέλτιστο σημείο. Πιο συγκεκριμένα, στην υποζώνη Μ, η μεταβολή στην ρύθμιση της βαλβίδας διαφοροποιείται για κάθε μήνα και διαμορφώνεται ίση με 290 kPa για τον μήνα Φεβρουάριο, 360 kPa για τον μήνα Ιούλιο και 320-330 kPa για τον μήνα Νοέμβριο. Στην υποζώνη 5 η βαλβίδα ρυθμίζεται σε χαμηλότερες τιμές από προηγουμένως και συγκεκριμένα διαμορφώνεται ίση με 250 kPa για τον μήνα Φεβρουάριο, 280 kPa για τον μήνα Ιούλιος και 240 kPa για τον μήνα Νοέμβριο. Στην υποζώνη K-1, οι τιμές διαμορφώνονται στα 360 kPa για τον μήνα Φεβρουάριο, 320-330 kPa για τον μήνα Ιούλιο και 370 kPa για τον μήνα Νοέμβριο. Στην υποζώνη K-2 η ρύθμιση της βαλβίδας διαμορφώνεται στα 280 kPa για τον μήνα Φεβρουάριο, 310 kPa για

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

τον μήνα Ιούλιο και 260 kPa για τον μήνα Νοέμβριο. Εναλλακτικά, το βέλτιστο σημείο του Φεβρουαρίου είναι στην 5η περίπτωση και τα αποτελέσματα Ιουλίου "ομαδοποιούνται" ανάλογα με τον πληθυσμό που εξυπηρετείται από κάθε DMA (10η και 11η περίπτωση για τις πολυπληθείς DMAS και 3η και 8η για τις άλλες δύο). Ο Νοέμβριος δεν δείχνει παρόμοια ικανοποίηση μεταξύ των DMAs, αλλά η βέλτιστη λύση επιτυγχάνεται από την πρώτη υποθετική αλλαγή πίεσης στις PRVs.

Το ιδανικό θα ήταν να μπορεί ο αντίστοιχος ρυθμιστής ή ο διαχειριστής του δικτύου να υλοποιεί όλες τις αλλαγές που συμβαίνουν κάθε μήνα, αλλά αυτό αποδεικνύεται αρκετά χρονοβόρο χωρίς να προκύπτει μεγάλο κέρδος απ’ αυτό. Εν κατακλείδι, βασικό μέλημα αποτελεί η διατήρηση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού που διατίθεται στους καταναλωτές σε υψηλά επίπεδα ώστε να είναι εφικτή η κάλυψη των αναγκών τους σε κάθε στιγμή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Ο Ρυθμός Ενηλικίωσης Του Δικτύου Ως Δείκτης Ποιοτικής Εξέλιξης Του Νερού

Κατά την παρακολούθηση της λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης σε ό,τι αφορά την ενέργεια, την ποσότητα και την ποιότητα έχουν δημιουργηθεί πάρα πολλοί δείκτες οι οποίοι μας περιγράφουν μακροσκοπικά ή και μικροσκοπικά το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών. έρχεται λοιπόν η στιγμή όπως έχουμε ήδη αντιληφθεί από το κεφάλαιο 7 εκτιμώντας την αξία της παρακολούθησης της ηλικίας εντός των δικτύων να προσεγγίσουμε έναν άλλο δείκτη ποιοτικής παρακολούθησης του νερού, του ρυθμού ενηλικίωσης του δικτύου. Προφανώς αφορά τον ρυθμό ενηλικίωσης του νερού μέσα στα δίκτυα και δεν είναι δυνατό αυτό να έχει ακρίβεια στη μελέτη του όταν μελετάμε μεγάλα δίκτυα χωρίς πρώτα να τα έχουμε τμηματοποιήσει σε μικρότερες στεγανές υποζώνες. Ο ρυθμός ενηλικίωσης προφανώς θα είναι εμφανής είτε σε ένα απλό διάγραμμα ηλικίας και χρόνου μελέτης ή σε πιο αναλυτικές περιπτώσεις, θα περιγράφεται από συνάρτηση ανά περιοχή μελέτης και θα παρέχει τη δυνατότητα στον διαχειριστή της περιοχής, να ενεργεί αναλόγως είτε εγκαίρως πριν η ηλικία περάσει τα θεμιτά όρια ή επηρεάζοντας το ρυθμό ώστε να λειτουργεί ανάλογα των δυνατοτήτων του.

8.1. Επίλυση των υδραυλικών μοντέλων - ψηφιακών διδύμων ως προς την ποιότητα για παρατεταμένο χρόνο.

Τα υδραυλικά μοντέλα που λειτουργούν σε επίπεδο ψηφιακού διδύμου έχουν την ανάγκη της διαρκούς ενημέρωσης. Μόνο έτσι διατηρούν την αξία τους και την αποτελεσματικότητα των δεδομένων. Όταν το ψηφιακό δίδυμο έχει συμπληρωθεί με τα κατάλληλα στοιχεία τότε μελετούμενο για μεγάλα χρονικά διαστήματα, προκύπτουν τελικοί υπολογισμοί με υψηλή ακρίβεια και ορθότητα ακόμα και για ευαίσθητα αντικείμενα όπως είναι η ποιότητα του νερού.

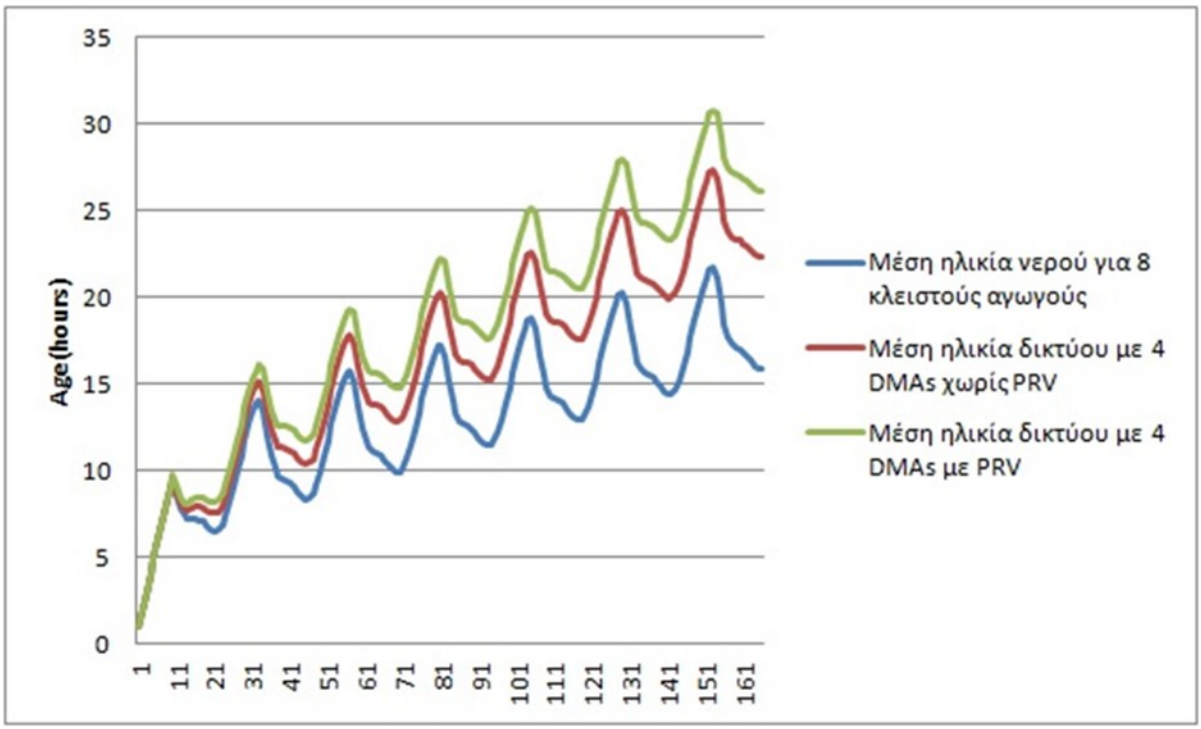
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Είναι εξαιρετικά σημαντικό κάθε κίνηση επένδυσης, αλλαγής, ή τυπικής παρέμβασης στο δίκτυο να μελετάται όχι μόνο ως προς τη δράση που θα εφαρμοστεί αλλά και ως προς το αντίκτυπό της στην ποιότητα και την ηλικία του νερού.

Στο έβδομο κεφάλαιο οι περισσότερες αναλύσεις και μελέτες που έγιναν πάνω σε δίκτυα ύδρευσης είχαν χρόνο ανάλυσης αρκετό ώστε να έχουμε εξαγωγή δεδομένων ασφαλώς μετά την ισορροπία του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι συνήθως χρησιμοποιούμε ανάλυση 96-100 ώρες. Δεν αναλύουμε περισσότερο αν δεν είναι απαραίτητο καθώς η επεξεργαστική ισχύς που απαιτείται για την ανάλυση ποιότητας ενός δικτύου άνω των 500 αγωγών είναι εξαιρετικά μεγάλη και οι συμβατικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές κοπιάζουν να τη φέρουν εις πέρας. Στην παρακολούθηση όμως του ρυθμού ενηλικίωσης του νερού μέσα σε ένα δίκτυο απαιτείται η πιο μακρά επίλυση του μοντέλου του ψηφιακού διδύμου. Με τον παραπάνω τρόπο, η δημιουργία συνάρτησης που περιγράφει το ρυθμό ενηλικίωσης είναι εφικτή με ακρίβεια, ώστε να περιγράφει ασφαλώς τις τιμές της ηλικίας που θα προκύψουν και αργότερα από το χρόνο μελέτης.

8.2. Ο ρυθμός ενηλικίωσης στα δίκτυα της Αιανής, της Νέας Δημητριάδας και της Κω

Στο κεφάλαιο 7.1 αναλύθηκε η περίπτωση μελέτης του δικτύου της Αιανής. Επαναλαμβάνοντας ένα και μόνο γράφημα αλλά έχοντας και όλα τα υπόλοιπα διαθέσιμα παραπάνω, καταλαβαίνουμε την εξέλιξη της ηλικίας του νερού. Καθώς η Αιανή αποτελεί μία βασική εκδοχή μελέτης με μικρή έκταση και απλό ενιαίο χαρακτήρα συμπεριφοράς, ο ρυθμός ενηλικίωσης χωρίς να έχει τις ίδιες τιμές, έχει όμοια εξέλιξη για όλα τα σενάρια και για όλες τις στεγανές υποζώνες.

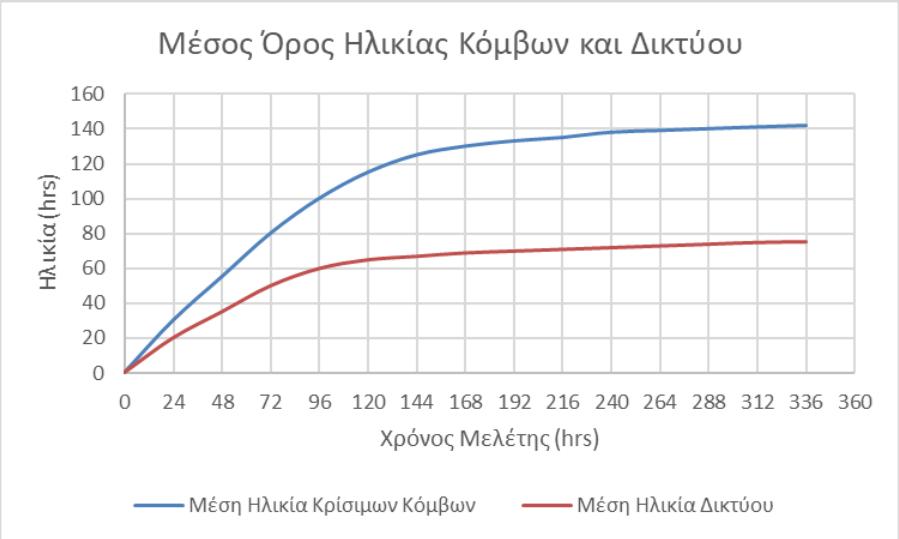


Γράφημα 89 Η μέση ηλικία δικτύου για τα τρία σενάρια μελέτης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Μελετώντας προσεκτικά της πορεία των χρωμάτων παραπάνω παρατηρούμε πως στην αρχή έχουμε μία ταχύτατη ενηλικίωση καθώς το σύστημα ακόμα δεν βρίσκεται σε ισορροπία και δεν πρέπει να ανησυχούμε για αυτό. Η κατάσταση ισορροπίας επέρχεται μετά τη σταθεροποίηση της συμπεριφοράς του δικτύου και συνήθως κατά την απόλυτη επανάληψη των τάσεων του. Μετά την ισορροπία λοιπόν το δίκτυο της Αιανής εμφανίζει έναν ρυθμό ενηλικίωσης που κυμαίνεται ανά σενάριο από 2 έως 3 ώρες το κάθε 24ωρο συνεχούς υδραυλικής προσομοίωσης. Η τάση του αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς και αν κάποια μέτρα δεν παρθούν για το λόγο αυτό, όποιο σενάριο από τα τρία και να επιλεχθεί από τον διαχειριστή νερού, κάποια μέρα οι τιμές της ηλικίας του νερού θα είναι υπερβολικές.

Στο κεφάλαιο 7.3 είχαμε την ανάλυση του δικτύου της Νέας Δημητριάδας ενός δικτύου με πολύ ομαλή συμπεριφορά και νέους αγωγούς. Εδώ εντοπιστήκαν θέματα με την ηλικία του νερού αλλά ήταν περιορισμένα γεωγραφικά στην περιοχή της αραιής κατοίκισης αλλά και μεγαλύτερου υψομέτρου. Η γενική εικόνα του δικτύου περιγράφεται στο γράφημα παρακάτω:

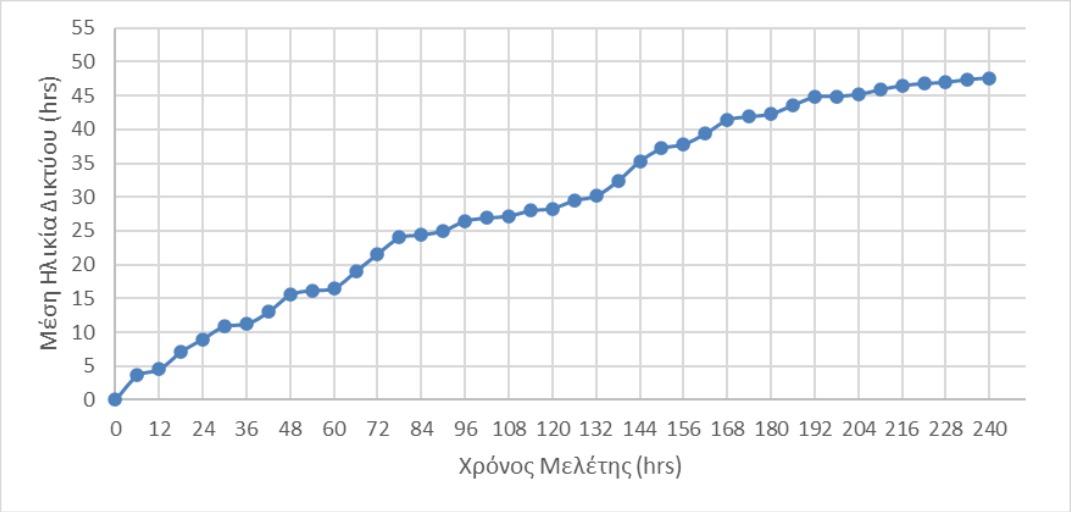


Γράφημα 90 Μέσος όρος ηλικίας του δικτύου και των κρίσιμων κόμβων όπως προέκυψε μετά από ανάλυση 360 ωρών για την περιοχή της Νέας Δημητριάδας.

Στην παραπάνω εικόνα λοιπόν βλέπουμε πως υπάρχει μεγάλη διαφορά στην καμπύλη των κρίσιμων κόμβων από την γενική εικόνα του δικτύου όμως το πιο σημαντικό είναι το εξής. Και οι δύο καμπύλες ενηλικιώνονται αρχικά ταχύτατα και έπειτα λόγω κανονικοποίησης της λειτουργίας του δικτύου όπου τείνουν ανοδικά να γίνουν παράλληλες και οριακά συνεχώς αυξητικές. Έχουμε περίπου μία αυξητική τάση τριών ωρών ανά 24ωρο ανάλυσης από τις 6 μέρες ανάλυσης και μετά.

Στο κεφάλαιο 7.4 η λίγο πιο απαιτητική περίπτωση ανάλυσης, αυτή της Κω είχε πιο πολύ ενδιαφέρον στην μακροχρόνια ανάλυση της ηλικίας. Η συμπεριφορά όλων των στεγανών υποζωνών προφανώς δεν ήταν η ίδια και το αποτέλεσμα που βλέπουμε παρακάτω είναι αυτό που προκύπτει μετά τη ρύθμιση και των πιέσεων και άρα τη μείωση των απωλειών και του εισερχόμενου νερού. Η Κως σε μέσους όρους δικτύου, εμφανίζει την ενηλικίωση του παρακάτω γραφήματος:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 91 Η ενηλικίωση της Κω κατά μέσο όρο Δικτύου στο τελευταίο σενάριο ανάλυσης για 240 ώρες μελέτης.

Εδώ παρατηρούμε με λεπτομέρεια την συμπεριφορά της μεγάλης διακύμανσης του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο. Οι μεγάλες διαφορές μεταξύ μέρας και νύχτας αλλά και η γενικότερη κατάσταση εμφανίζουν μία πιο ελαστική καμπύλη η οποία όμως έχει συνεχώς αυξητική τάση και εντυπωσιακά φτάνει μετά από 240 ώρες ανάλυσης στην τιμή των 47,64 ωρών. Αν συνεχιζόταν η ανάλυση για περισσότερες ώρες τότε η ηλικία του νερού θα αυξανόταν κι άλλο χωρίς ανώτατο όριο. Ιδιαίτερα ανησυχητικό δεδομένο για τους διαχειριστές νερού αφού θα αποδεικνυόταν πως χωρίς τεχνητή εκκένωση του δικτύου, προσπαθώντας να εξοικονομήσουν νερό υποβαθμίζουν την ποιότητα του πόσιμου παρεχόμενου νερού στο δίκτυο. Έτσι η ανάλυση και ο ρυθμός ενηλικίωσης δεν φθάνει απλά να μας δίνει μία αίσθηση ή την απόδειξη της συνεχούς αύξησης αλλά όπου δυνατό, να μας δίνεται και μία συνάρτηση που εισάγοντας απλά το χρόνο ανάλυσης θα μας πει την ηλικία του δικτύου ή της υποζώνης που μας αφορά.

8.3. Ρυθμός ενηλικίωσης της Κοζάνης με περιγραφή της ενηλικίωσης από αντικειμενική συνάρτηση

8.3.1. Οι συναρτήσεις ενηλικίωσης του νερού στις πιο βασικές ζώνες DMA

Έχοντας συγκεντρώσει τα δεδομένα της μελέτης από το 7ο κεφάλαιο ακόμα για το πιο σημαντικό ψηφιακό δίδυμο που έχει παρουσιαστεί στην παρούσα διατριβή -αυτό της Κοζάνης, ακολούθησε η διαδικασία χωρισμού του δικτύου σε DMAs (στεγανές ζώνες) και η εγκατάσταση των PRVs (βαλβίδες μείωσης πίεσης) κατάντη έκαστης ζώνης DMA στην οποία πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση. Τελικό στόχο αποτελεί η κατάστρωση της συνάρτησης ενηλικίωσης για το νερό των κόμβων στην υφιστάμενη, αλλά και την πιθανή μελλοντική κατάσταση του δικτύου.

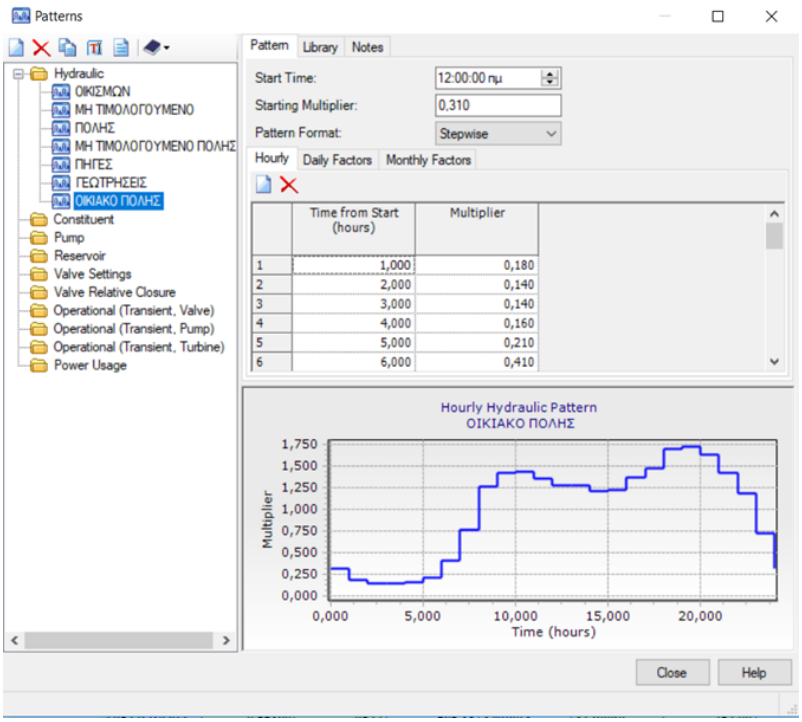
Είδαμε την ανάγκη να δημιουργηθεί μία συνάρτηση ενηλικίωσης η οποία θα προκύπτει για το χρονικό διάστημα ανάλυσης που απαιτείται από το εκάστοτε δίκτυο προκειμένου αυτό να ισορροπήσει υδραυλικά. Συνήθως αυτή πραγματώνεται σε περίοδο 24 ωρών (1 ημέρα). Καθώς όμως σκοπεύουμε σε ικανοποιητικά και ρεαλιστικά αποτελέσματα τόσο βραχυπρόθεσμα όσο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

μακροπρόθεσμα -περίοδος που να φτάνει ακόμη και το χρόνο ζωής του νερού, επιλέχθηκε ανάλυση διάρκειας 10 ημερών (240 ώρες) για τα 3 σενάρια ώστε να συμβαδίζουν με το πως ενηλικιώνεται το συγκεντρωμένο νερό εντός του δικτύου τους μήνες Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Ιούλιο.

Οι DMAs που εξετάστηκαν είναι οι Μ, Κ-1, 5, Κ-2. Οι DMA 5 και Μ εμπίπτουν, σύμφωνα με την τοπολογία της πόλης, στη μεσαία ζώνη αναφορικά με το μέγεθος της πίεσης. Επιπλέον, καλύπτουν έκταση στο κέντρο της Κοζάνης -ανάγκες οικιστικού δικτύου και εμπορικών καταστημάτων, αλλά ταυτόχρονα ικανοποιούν σημαντικές καταναλώσεις οι οποίες αφορούν τον «καλλωπισμό» της -ενδεικτικά αναφέρεται η άρδευση των χώρων πρασίνου- και κατηγοριοποιούνται ως μη τιμολογούμενες. Αντιστοίχως, οι Κ-1, Κ-2 ανήκουν σε ζώνη χαμηλών πιέσεων, σε περιοχές λιγότερο κατοικημένες, όπου η ζήτηση είναι αισθητά πιο χαμηλή. Από τα παραπάνω καθίσταται αμέσως αντιληπτό πως κάθε στεγανή υποζώνη θα ανταποκρίνεται διαφορετικά λόγω των παραμέτρων που τη χαρακτηρίζουν, όπως είναι η απαίτηση σε όγκο νερού, η μορφολογία της περιοχής, η συμπεριφορά έναντι στην όποια αλλαγή επέρχεται στην ηλικία του νερού ανά κόμβο.

Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο να επιλεγεί η καταλληλότερη ανά περίπτωση εξίσωση για την περιγραφή του γραφήματος που προκύπτει από τις ώρες ανάλυσης σε ηλικιακή (curve fitting). Η επιλογή αυτή έγινε με τη χρήση υπολογιστικού προγράμματος.



Εικόνα 61 Προσομοίωση της ζήτησης σε 24 ώρες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 60 Τιμές πολλαπλασιαστή της ζήτησης ανά ώρα για 24 ώρες

Time from Start (hours)	Multiplier
1,000	0,180
2,000	0,140
3,000	0,140
4,000	0,160
5,000	0,210
6,000	0,410
7,000	0,760
8,000	1,260
9,000	1,420
10,000	1,430
11,000	1,350
12,000	1,280
13,000	1,280
14,000	1,210
15,000	1,230
16,000	1,370
17,000	1,470
18,000	1,700
19,000	1,730
20,000	1,630
21,000	1,420
22,000	1,180
23,000	0,730
24,000	0,310

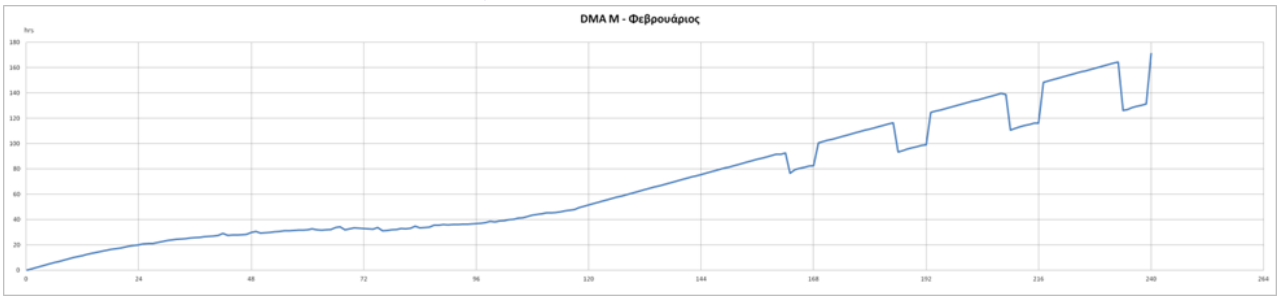
Είναι γεγονός πως η ζήτηση για νερό στη διάρκεια μιας ημέρας ακολουθεί τη δραστηριότητα του ανθρώπινου παράγοντα. Από παρατηρήσεις σε ημερήσιους κύκλους έχει διαπιστωθεί ότι μεταξύ των ωρών 02:00 και 03:00 [πμ] εντοπίζεται η ελάχιστη τιμή κατανάλωσης -λογικό αφού αποτελούν ώρες ξεκούρασης για το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού. Η ζήτηση αυξάνεται σταδιακά στη διάρκεια της ημέρας με μικρή μείωση τις μεσημβρινές ώρες κατά τις οποίες κλείνει η αγορά και οι διάφορες υπηρεσίες, ενώ η κορύφωσή της παρατηρείται στις 19:00 [μμ] (η τιμή που λαμβάνει ο πολλαπλασιαστής φτάνει το 1,73). Από αυτό το σημείο και έπειτα η κατανάλωση μειώνεται.

Όπως προαναφέρθηκε, αναλύθηκαν δεδομένα για χρονικό διάστημα 240 ωρών (10 ημερών). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με μια σειρά γραφημάτων, καθώς επίσης σχολιάζονται με γνώμονα το μοτίβο ζήτησης νερού (pattern of demand).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.2. Συνάρτηση ενηλικίωσης. Σενάριο 1ο: Υφιστάμενη κατάσταση (χωρίς DMAs, χωρίς PRVs).

8.3.2.1 Ανάλυση για την περιοχή Μ το μήνα Φεβρουάριο



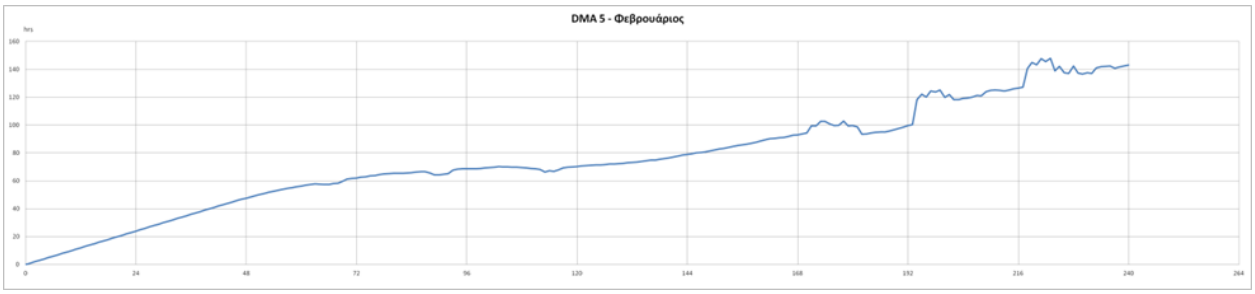
Γράφημα 92 Περιοχή Μ - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

Ο ρυθμός ενηλικίωσης του νερού της περιοχής Μ είναι διαρκώς αυξανόμενος τις πρώτες έξι ημέρες της ανάλυσης (144η ώρα). Στη συνέχεια παρατηρείται ημερήσια μεταβολή η οποία συνάδει με το μοτίβο της ζήτησης, οπότε και δεχόμαστε ότι έχει επέλθει υδραυλική ισορροπία. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 171,336 ώρες σε χρόνο t= 240 ώρες. Για το Σενάριο 1 και το μήνα Φεβρουάριο η συνάρτηση που περιγράφει το ρυθμό ενηλικίωσης του νερού για την περιοχή Μ με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια είναι η εξής:

Εξίσωση 3 Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού

$$y = 10^{-9} x^5 - 8 \cdot 10^{-7} x^4 + 3 \cdot 10^{-4} x^3 - 0{,}0285 x^2 + 1{,}511 x - 2{,}2052$$

8.3.2.2 Ανάλυση για την περιοχή 5 το μήνα Φεβρουάριο



Γράφημα 93 Περιοχή 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

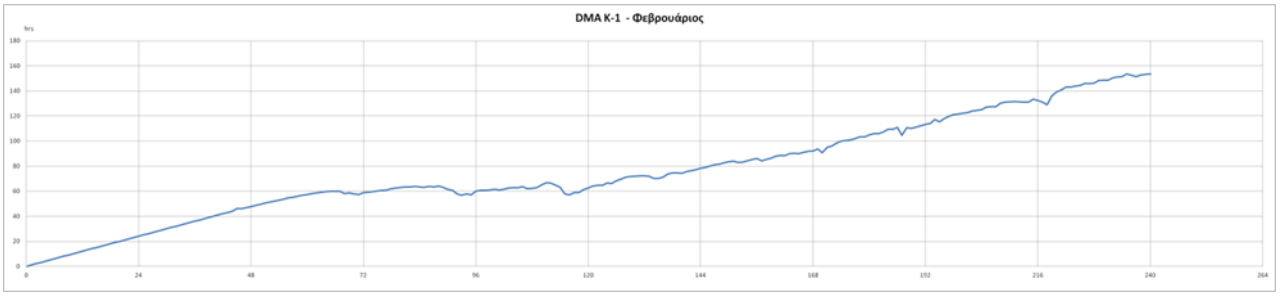
Επίσης στην περιοχή 5 η ηλικία του νερού αναπτύσσεται ακολουθώντας ανοδική πορεία με μικρή πτώση σε ορισμένα σημεία που δεν υπερβαίνουν το διάστημα των 2 ωρών. Η μεταβολή ξεκινάει λίγο πριν την 7η ημέρα και συγκεκριμένα την 166η ώρα, όπου η μορφή του διαγράμματος σταθεροποιείται. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 148,032 ώρες σε χρόνο t= 223 ώρες. Για το Σενάριο 1 και το μήνα Φεβρουάριο η συνάρτηση που περιγράφει το ρυθμό ενηλικίωσης για την περιοχή 5 είναι:

Εξίσωση 4 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής 5

$$y = 3 \cdot 10^{-5} x^3 - 0{,}0089 x^2 + 1{,}3359 x - 1{,}1018$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.2.3 Ανάλυση για την περιοχή Κ-1 το μήνα Φεβρουάριο



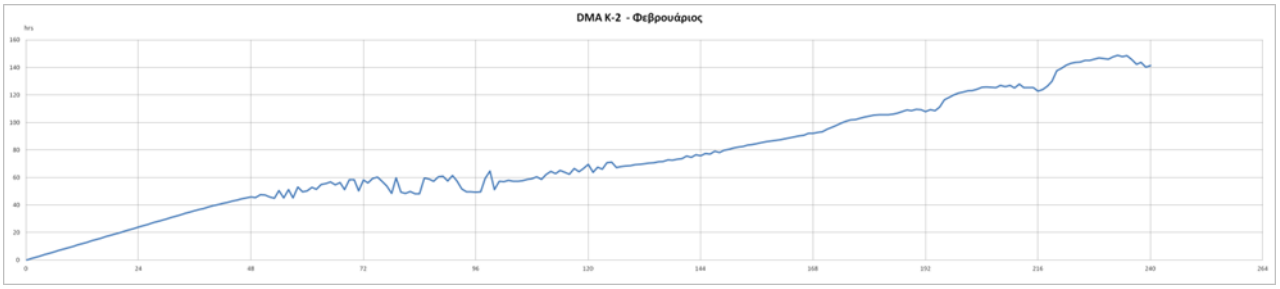
Γράφημα 94 Περιοχή Κ-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

Από το γράφημα 94 καθίσταται εμφανές πως στην περιοχή Κ-1 η ηλικία του νερού διαρκώς αυξάνεται, ενώ παρατηρούνται αρκετά σημεία πτώσης αυτής για μικρά χρονικά διαστήματα. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 153,603 ώρες σε χρόνο t= 235 ώρες. Για το Σενάριο 1 και το μήνα Φεβρουάριο η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-1 είναι:

Εξίσωση 5 Συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-1

$$y = -2 \cdot 10^{-7} x^4 + 10^{-4} x^3 - 0{,}025 x^2 + 2{,}1101 x - 9{,}4384$$

8.3.2.4 Ανάλυση για τη την περιοχή Κ-2 το μήνα Φεβρουάριο



Γράφημα 95 Περιοχή Κ-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

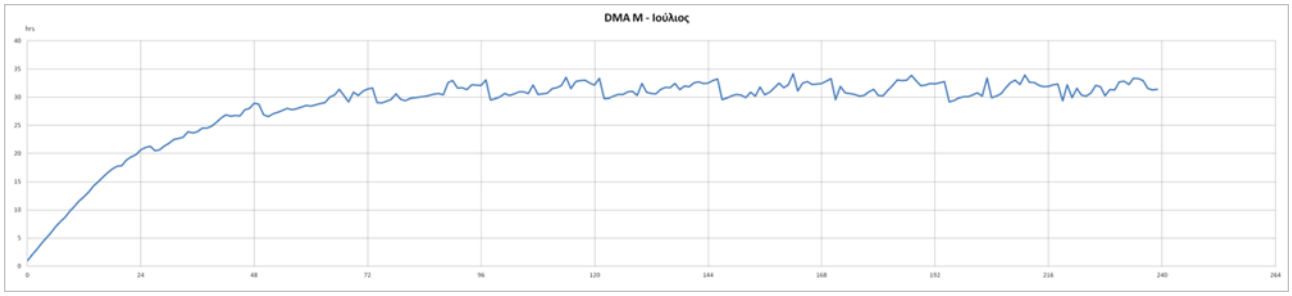
Η περιοχή Κ-2 παρουσιάζει ιδιορρυθμία συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Στην αρχή η ηλικία έχει ανοδική τάση. Έπειτα το πέρας της 48ης ώρας εμφανίζει πτώση. Ενώ, όμως, φαινομενικά ξεκινάει να αυξομειώνεται περιοδικά, μετά την 148η ώρα επιστρέφει σε απλή αυξητική πορεία έως την 168η ώρα περίπου όπου η μεταβολή της ηλικίας του νερού συμβαδίζει πια με το μοτίβο ζήτησης του δικτύου. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 148,983 ώρες σε χρόνο t= 233 ώρες. Συμπερασματικά, για το Σενάριο 1 και το μήνα Φεβρουάριο η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-2 είναι:

Εξίσωση 6 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Κ-2

$$y=-5 \cdot 10^{-10} x^5 + 8 \cdot 10^{-8} x^4 + 6 \cdot 10^{-5} x^3 - 0{,}0168 x^2 + 1{,}6696 x - 4{,}7971$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.2.5 Ανάλυση για την περιοχή Μ το μήνα Ιούλιο



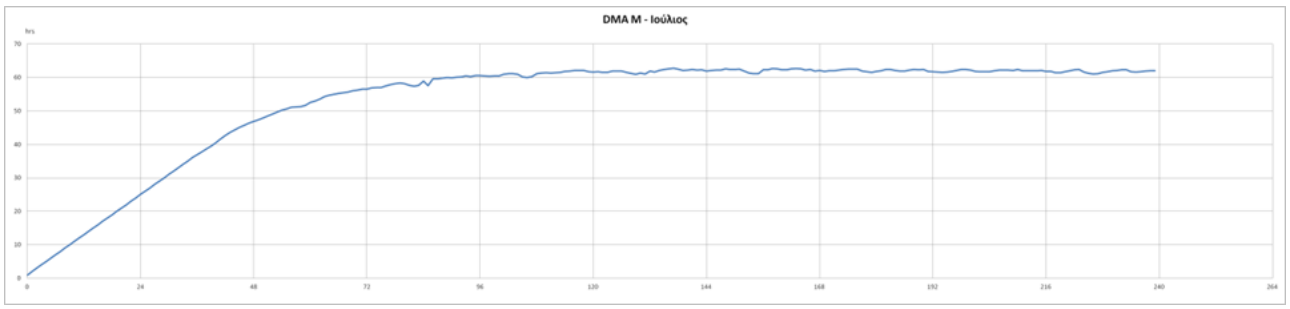
Γράφημα 96 Περιοχή Μ - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Ιούλιος)

Η γραφική παράσταση που προέκυψε αγγίζει το απόλυτο όριο συμβατότητας σε σχέση με το μοτίβο ζήτησης. Η ηλικία του νερού αυξάνεται τις πρώτες 2 ημέρες της ανάλυσης φτάνοντας να λάβει τιμή 29 ωρών περίπου. Στη συνέχεια διατηρείται σε σταθερό επίπεδο -τιμές που μεταβάλλονται μεταξύ των 29 και 35 ωρών. Η συμπεριφορά αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη με την κατανάλωση νερού, καθώς όταν ο συντελεστής ζήτησης είναι μεγάλος παρατηρείται μείωση της ηλικίας του νερού και το αντίθετο. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 34,194 ώρες σε χρόνο t= 163 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 1 και το μήνα Ιούλιο η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Μ είναι:

Εξίσωση 7 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Μ

$$y = -3\cdot10^{-12}x^6 + 3\cdot10^{-9}x^5 - 9\cdot10^{-7}x^4 + 2\cdot10^{-4}x^3 - 0{,}0197x^2 + 1{,}1705x + 0.8947$$

8.3.2.6 Ανάλυση για την περιοχή 5 το μήνα Ιούλιο



Γράφημα 97 Περιοχή 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Ιούλιος)

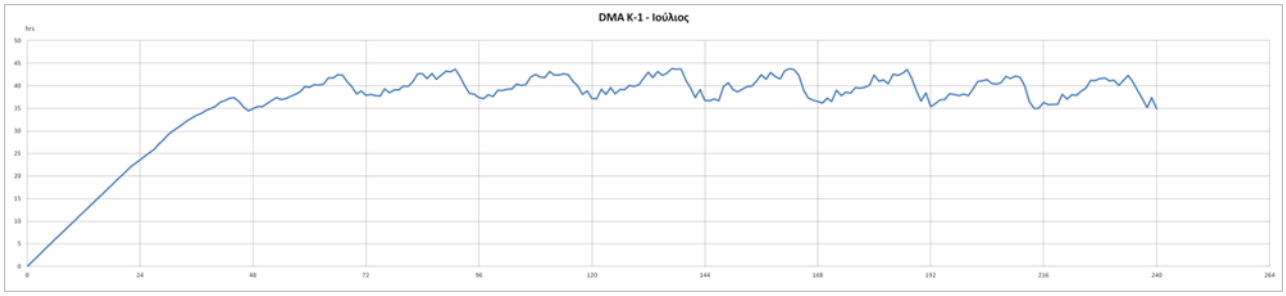
Το γράφημα 97 της περιοχής 5 (συνάρτηση ηλικίας-χρόνου ανάλυσης) παρουσιάζει στατικότητα στην τιμή της ηλικίας του νερού που παραμένει στους κόμβους του δικτύου. Η τιμή αυτή κρίνεται αρκετά ικανοποιητική, ενώ το σύστημα ισορροπεί υδραυλικά από την 4η ημέρα. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 62,833 ώρες σε χρόνο t= 138 ώρες. Επομένως, για το Σενάριο 1 και το μήνα Ιούλιο η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή 5 είναι:

Εξίσωση 8 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής 5

$$y = -7\cdot10^{-8}x^4 + 5\cdot10^{-5}x^3 - 0{,}014x^2 + 1{,}5643x - 4{,}3224$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.2.7 Ανάλυση για την περιοχή Κ-1 το μήνα Ιούλιο



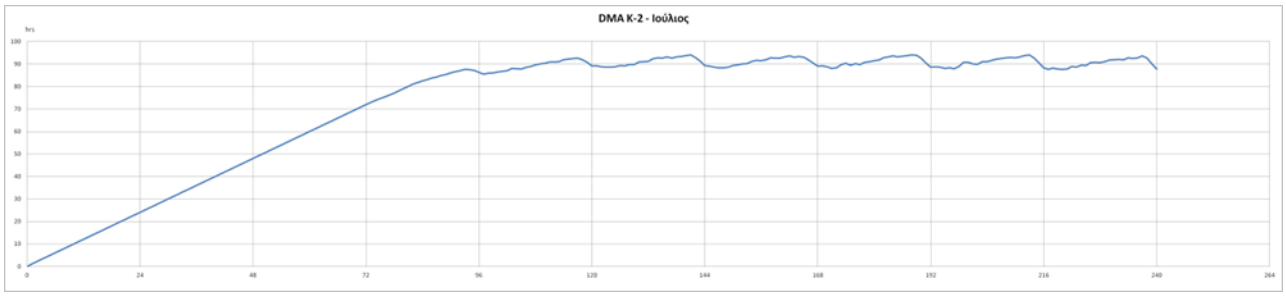
Γράφημα 98 Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Ιούλιος)

Η συμπεριφορά με την οποία εξελίσσεται η ηλικία του νερού στην περιοχή Κ-1 ακολουθεί μία συγκεκριμένη μορφή αμέσως μετά την υδραυλική ισορροπία του συστήματος η οποία πραγματοποιείται λίγο πριν το τέλος της 2ης ημέρας. Η μορφή αυτή ομοιάζει με ημιτονοειδή συνάρτηση η οποία κυμαίνεται μεταξύ τιμών ηλικίας 35 και 44 ώρες. Όπως στην περίπτωση της περιοχής Μ, υφίσταται κι εδώ αναλογική σχέση στη ζήτηση του δικτύου και την ηλικία του νερού ανά πάσα χρονική στιγμή. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 43,823 ώρες σε χρόνο t= 137 ώρες. Έτσι, για το Σενάριο 1 και το μήνα Ιούλιο η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-1 είναι:

Εξίσωση 9 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Κ-1

$$y = 6 \cdot 10^{-10} x^5 - 5 \cdot 10^{-7} x^4 + 10^{-4} x^3 - 0{,}0221 x^2 + 1{,}5817 x - 2{,}6789$$

8.3.2.8 Ανάλυση για την περιοχή Κ-2 το μήνα Ιούλιο



Γράφημα 99 Περιοχή Κ-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Ιούλιος)

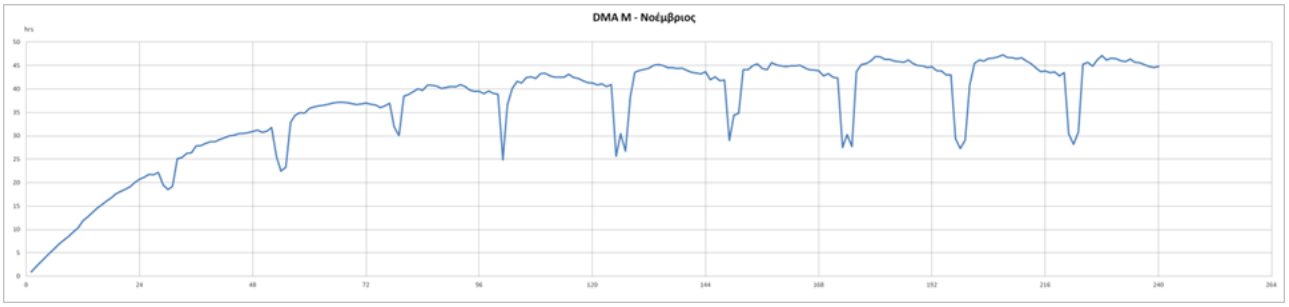
Σύμφωνα με τη γραφική παράσταση της περιοχής Κ-2 η ηλικία του νερού λαμβάνει τιμή πιο υψηλή από τις υπόλοιπες περιοχές –φτάνει τις 92 ώρες. Η ισορροπία επέρχεται μετά την 3η ημέρα (78η ώρα ανάλυσης), από όπου η ενηλικίωση των υδάτων φαίνεται να ακολουθεί συγκεκριμένη συμπεριφορά. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 94,138 ώρες σε χρόνο t=213 ώρες. Για το Σενάριο 1 και το μήνα Ιούλιο η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-2 είναι:

Εξίσωση 10 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Κ-2

$$y = -2 \cdot 10^{-9} x^5 + 10^{-6} x^4 - 3 \cdot 10^{-4} x^3 + 0{,}0196 x^2 + 0{,}5289 x + 2{,}2758$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.2.9 Ανάλυση για την περιοχή Μ το μήνα Νοέμβριο



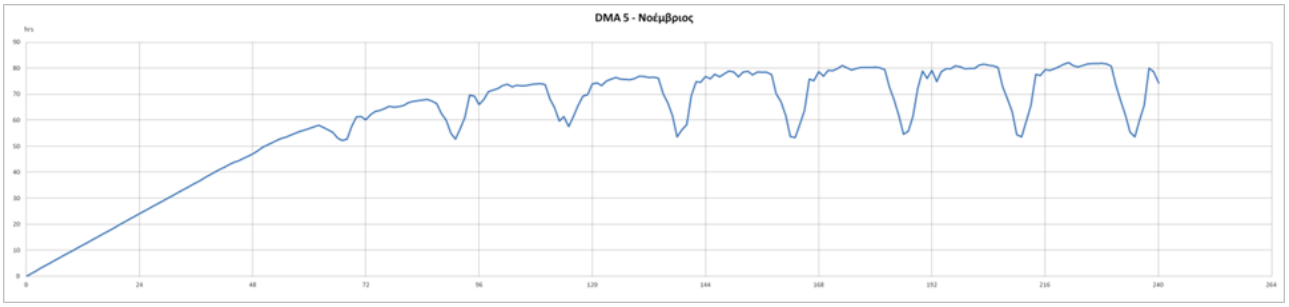
Γράφημα 100 Ενηλικίωση του νερού της DMA M για το πρώτο Σενάριο (Νοέμβριος)

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα τεκμαίρονται δύο συμπεράσματα. Το ένα είναι πως η υδραυλική ισορροπία επέρχεται και σε αυτή την περίπτωση από πολύ νωρίς (μόλις τη 10η ώρα της ανάλυσης). Το δεύτερο είναι πως το νερό στο δίκτυο διατηρείται φρέσκο σε μόνιμη βάση αφού, σύμφωνα με τα ικανοποιητικότατα αποτελέσματα και τη μορφή που ακολουθεί το γράφημα, η ηλικία του δεν υπερβαίνει τις 48 ώρες σε ανάλυση 240 ωρών. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 47,308 ώρες σε χρόνο t=207 ώρες. Για το Σενάριο 1 και το μήνα Νοέμβριο, λοιπόν, η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Μ είναι:

Εξίσωση 11 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Μ

$$y = 2\cdot10^{-12}x^6 - 9\cdot10^{-10}x^5 + 7\cdot10^{-8}x^4 + 4\cdot10^{-5}x^3 - 0{,}0102x^2 + 1{,}0298x + 0{,}4271$$

8.3.2.10 Ανάλυση για την περιοχή 5 το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 101 Περιοχή 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Νοέμβριος)

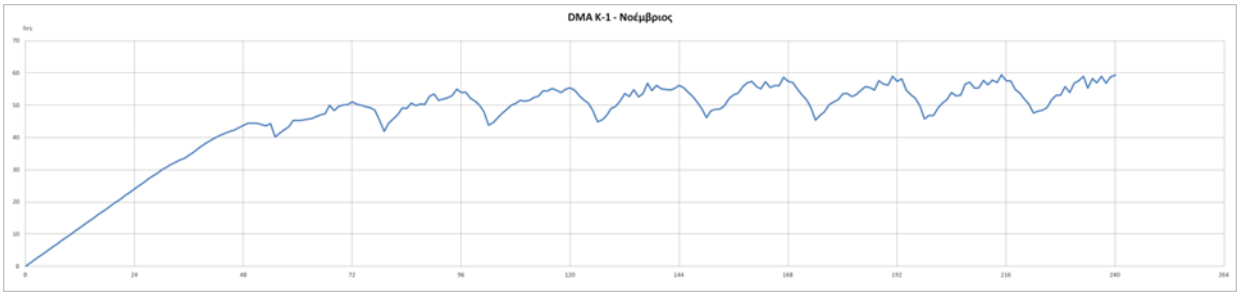
Αντίστοιχη συμπεριφορά στο ρυθμό ενηλικίωσης των υδάτων εντοπίζεται και στην περιοχή 5, όπου η ισορροπία έχει επέλθει στο πέρας της 2ης ημέρας (την 49η ώρα). Η ηλικία του νερού παραμένει μικρότερη από 84 ώρες. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 82,177 ώρες σε χρόνο t=221 ώρες. Για το Σενάριο 1 και το μήνα Νοέμβριο, η προκύπτουσα συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή 5 είναι:

Εξίσωση 12 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής 5

$$y = -6\cdot10^{-8}x^4 + 4\cdot10^{-5}x^3 - 0{,}0121x^2 + 1{,}5574x - 4{,}542$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.2.11 Ανάλυση για την περιοχή Κ-1 το μήνα Νοέμβριο



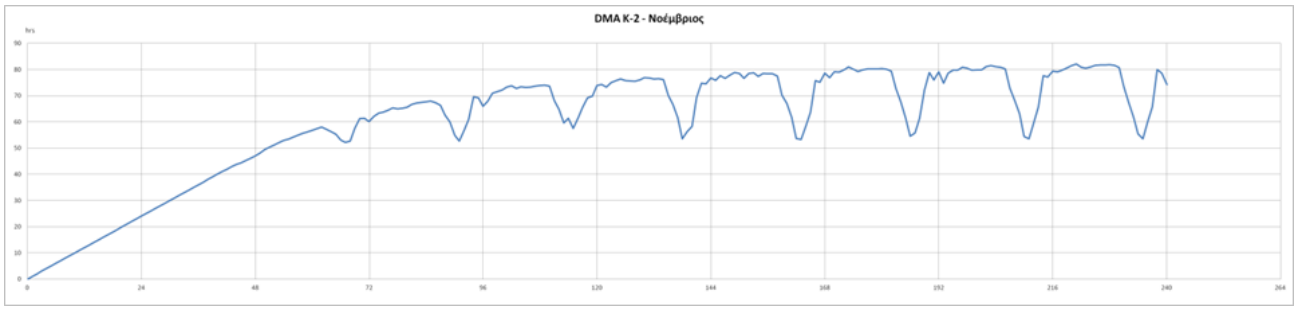
Γράφημα 102 Περιοχή Κ-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Νοέμβριος)

Οι παρατηρήσεις πάνω στο συγκεκριμένο γράφημα αφορούν τη μέγιστη ηλικία του νερού η οποία φτάνει σχεδόν τις 60 ώρες τις πρώτες ώρες της ημέρας –περίοδος ελάχιστης ζήτησης– και τη μορφή αυτού η οποία είναι σταθερά αυξανόμενη μέχρι την 50η ώρα ανάλυσης, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί το μοτίβο ζήτησης παρεκκλίνοντας μονάχα σε χρονικό διάστημα 24 ωρών (102η έως 126η ώρα). Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 59,525 ώρες σε χρόνο t=215 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 1 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-1 είναι:

Εξίσωση 13 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Κ-1

$$y = 10^{-11}x^6 - 8\cdot10^{-9}x^5 + 2\cdot10^{-6}x^4 - 2\cdot10^{-4}x^3 - 0{,}0022x^2 + 1{,}2145x - 1{,}3263$$

8.3.2.12 Ανάλυση για την περιοχή Κ-2 το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 103 Περιοχή Κ-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το πρώτο Σενάριο (Νοέμβριος)

Η ηλικία του νερού στην περιοχή Κ-2 παρουσιάζει ανοδική πορεία έως την 62η ώρα (στη διάρκεια της 3ης ημέρας μελέτης). Έπειτα, η συμπεριφορά της είναι σταθερά αυξομειούμενη με τιμές ηλικίας να κυμαίνονται από μια ελάχιστη τιμή 52 ωρών μέχρι τις 82 περίπου ώρες. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 78,12 ώρες σε χρόνο t=231 ώρες. Επομένως, για το Σενάριο 1 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για την περιοχή Κ-2 είναι:

Εξίσωση 14 Συνάρτηση ενηλικίωσης της περιοχής Κ-2

$$y = -6\cdot10^{-8}x^4 + 4\cdot10^{-5}x^3 - 0{,}0121x^2 + 1{,}5574^{x} - 4{,}542$$

Στην εξεταζόμενη περίπτωση όπου δεν έχει υλοποιηθεί ο διαχωρισμός του δικτύου σε ζώνες DMA, η συνάρτηση ενηλικίωσης υποδεικνύει παρόμοια συμπεριφορά μεταξύ των τεσσάρων νοητά χωρισμένων περιοχών. Η εν λόγω ομοιομορφία, όμως, διαφοροποιείται από τον ένα μήνα μελέτης στον επόμενο. Ανά μήνα ανάλυσης παρατηρούνται τα πιο κάτω στοιχεία.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Για το μήνα Φεβρουάριο, πρώτο και βασικότερο είναι ότι η αύξηση στην ηλικία του νερού είναι συνεχής. Το γεγονός αυτό συμβαίνει επειδή η συνολική κατανάλωση το μήνα αυτό σε σχέση με τους άλλους δύο που μελετήθηκαν είναι μειωμένη, ενώ παράλληλα ο αποθηκευμένος όγκος νερού στον υπόγειο υδροφορέα και τις φυσικές πηγές είναι πολύ μεγαλύτερος τη συγκεκριμένη εποχή καθώς τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες επικρατούν καιρικά φαινόμενα που υπερκαλύπτουν τις όποιες απώλειες (βροχή, χιόνι, χαλάζι). Ως επακόλουθο γεμίζουν οι δεξαμενές και οι γεωτρήσεις κι εφόσον η προσφορά είναι μεγαλύτερη της ζήτησης υπάρχει σχετική στασιμότητα του νερού εντός του δικτύου. Άλλο στοιχείο αποτελεί το κοινό για όλες τις περιοχές υπό μελέτη χρονικό διάστημα κατά το οποίο καταγράφεται η μέγιστη τιμή ηλικίας, το οποίο κυμαίνεται στις 223 και 240 ώρες. Τέλος, η τιμή αυτή ανήκει στην ίδια τάξη μεγέθους σε όλες τις περιοχές.

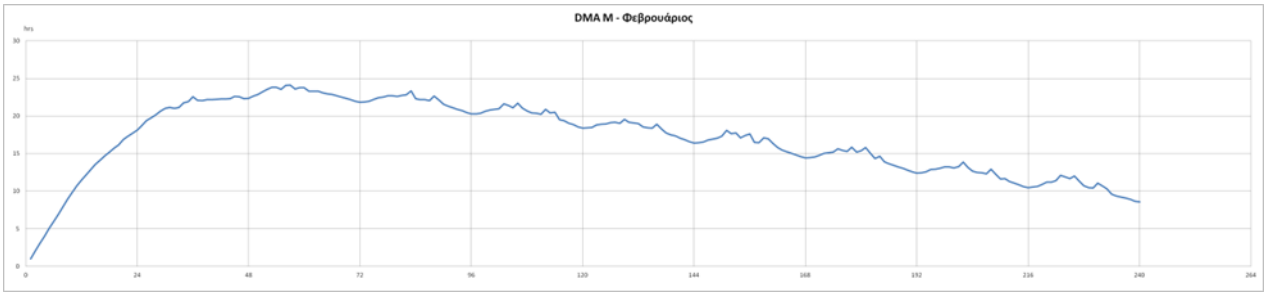
Για το μήνα Νοέμβριο το μοτίβο ενηλικίωσης των υδάτων είναι ξεκάθαρο, καθώς επίσης η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η ηλικία είναι αρκετά μικρότερη από το Φεβρουάριο. Συγκριτικά, το νερό εντός των ζωνών Μ – 5 είναι πιο φρέσκο από εκείνο που παρέχεται στις Κ-1 – Κ-2 ζώνες. Σε ό,τι αφορά τη χρονική περίοδο εμφάνισης της μέγιστης τιμής ηλικίας υπάρχει απόκλιση μεταξύ των ζωνών. Στις DMA 5 – Κ-1 καταγράφεται την 138η και 137η ώρα ανάλυσης αντιστοίχως, στη DMA Μ εντοπίζεται την 163η ώρα και στη DMA Κ-2 την 213η.

Ο Ιούλιος ομοιάζει στη συμπεριφορά το Νοέμβριο. Οι διαφορές τους έγκεινται α) στο ότι τον Ιούλιο δεν υφίσταται ομοιότητα στο χρόνο καταγραφής της μέγιστης τιμής ηλικίας για τις περιοχές μελέτης· β) οι μέγιστες τιμές γήρανσης στις ζώνες Μ – 5 είναι υψηλότερες από αυτές του Νοεμβρίου, ενώ στις ζώνες Κ-1 – Κ-2 χαμηλότερες.

Εν κατακλείδι, στο πρώτο Σενάριο διαπιστώνεται αυξητική τάση στην ενηλικίωση του ύδατος, η οποία προσδιορίζεται πιο δύσκολα το μήνα Φεβρουάριο από τους άλλους μήνες. Όμως, σε όλες τις περιπτώσεις, καθίσταται εμφανής η αντίστροφη σχέση μεταξύ της ηλικίας του νερού και της ζήτησης αυτού από την ώρα που το δίκτυο έκαστης περιοχής ισορροπεί υδραυλικά και έως το πέρας της ανάλυσης.

8.3.3. Συνάρτηση ενηλικίωσης. Σενάριο 2ο: Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs (Με DMAs, χωρίς PRVs).

8.3.3.1 Ανάλυση για τη DMA Μ το μήνα Φεβρουάριο



Γράφημα 104 DMA Μ - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Φεβρουάριος)

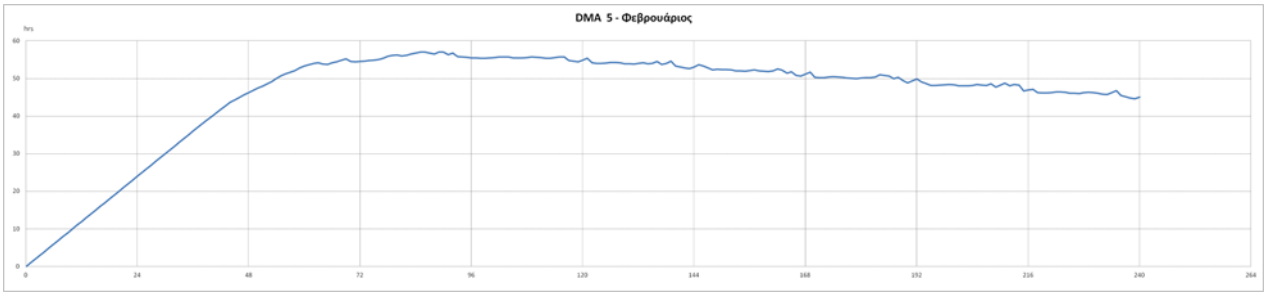
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Παρατηρώντας την περίπτωση της DMA (πλέον) Μ αναγνωρίζεται μια ιδιαίτερη και διαφορετική συμπεριφορά καθώς η ηλικία του ύδατος αυξάνεται μέχρι την 3η περίπου ημέρα, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί μια καθοδική πορεία με συγκεκριμένο όμως ρυθμό. Αποτελεί γεγονός ότι ο διαχωρισμός του δικτύου σε στεγανές υποζώνες είναι ένα καίριο βήμα για την παροχή πιο φρέσκου νερού. Παρά ταύτα, θεωρείται δόκιμο στη συγκεκριμένη υποζώνη ο χρόνος της ανάλυσης να ήταν αρκετά μεγαλύτερος με σκοπό τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι πιστότερα. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 24,118 ώρες σε χρόνο t=57 ώρες. Έτσι, για το Σενάριο 2 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για 240 ώρες ανάλυσης για τη DMA Μ είναι:

Εξίσωση 15 Συνάρτηση ενηλικίωσης που προκύπτει για 240 ώρες ανάλυσης στην DMA Μ

$$y = -5\cdot10^{-12}\,x^6 + 4\cdot10^{-9}\,x^5 - 2\cdot10^{-6}\,x^4 + 3\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}026\,x^2 + 1{,}297\,x - 0{,}7281$$

8.3.3.2 Ανάλυση για τη DMA 5 το μήνα Φεβρουάριο



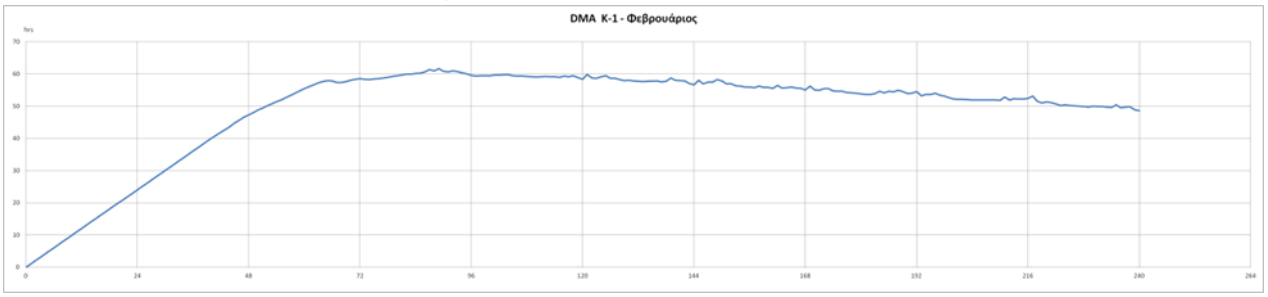
Γράφημα 105 DMA 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Φεβρουάριος)

Στη DMA 5 εντοπίζεται αύξηση της ηλικίας του νερού ως την 86η ώρα, από όπου ξεκινάει διαρκής ελάττωσή της με χαμηλό όμως ρυθμό. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 57,067 ώρες σε χρόνο t=86 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 2 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA 5 είναι:

Εξίσωση 16 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA 5)

$$y = -9\cdot10^{-8}\,x^4 + 6\cdot10^{-5}\,x^3 - 0{,}0159\,x^2 + 1{,}6749\,x - 5{,}0032$$

8.3.3.3 Ανάλυση για τη DMA Κ-1 το μήνα Φεβρουάριο



Γράφημα 106 DMA Κ-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Φεβρουάριος)

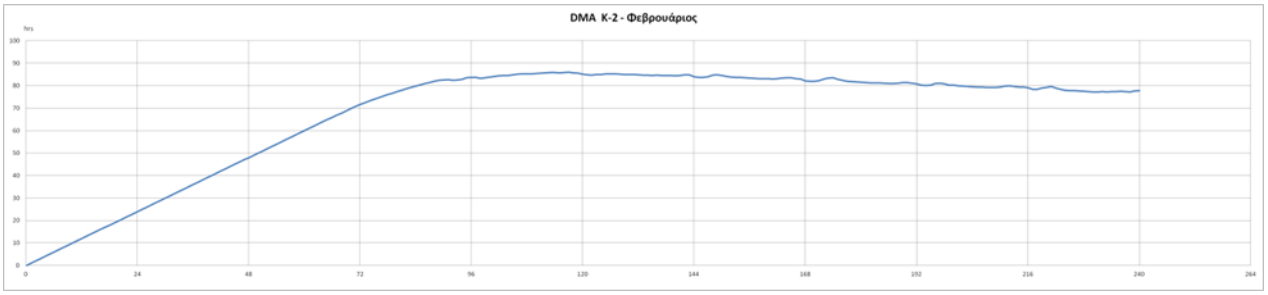
Η αύξηση της ηλικίας του νερού στη DMA Κ-1 διαρκεί μέχρι την 89η ώρα (λίγο πριν το πέρας της 4ης ημέρας). Έπειτα, παρατηρείται μειωτική πορεία της οποίας ο ρυθμός είναι μικρότερος από εκείνον με τον οποίο αυξανόταν. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 61,698 ώρες σε χρόνο t=89 ώρες. Για το Σενάριο 2 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA Κ-1 είναι:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εξίσωση 17 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K 1)

$$y = -7\cdot10^{-8}\,x^4 + 5\cdot10^{-5}\,x^3 - 0{,}015\,x^2 + 1{,}6876\,x - 5{,}4931$$

8.3.3.4 Ανάλυση για τη DMA K-2 το μήνα Φεβρουάριο



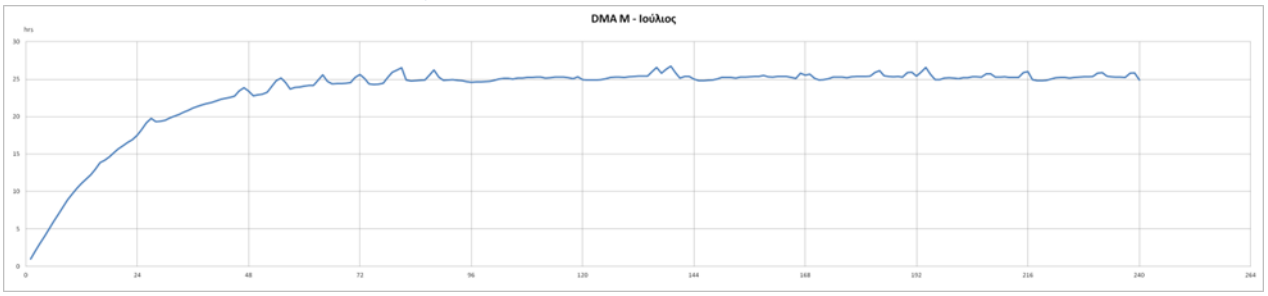
Γράφημα 107 DMA K-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Φεβρουάριος)

Στο παραπάνω γράφημα που αφορά τη DMA K-2 εντοπίζεται ομοιομορφία στο ρυθμό ενηλικίωσης συγκριτικά με εκείνο της DMA K-1. Ειδικότερα, παρατηρείται ανοδική πορεία μεγάλου ρυθμού της οποίας έπεται μια σταθερή πτώση αργού ρυθμού. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 86,042 ώρες σε χρόνο t=117 ώρες. Επομένως, για το Σενάριο 2 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-2 είναι:

Εξίσωση 18 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K 2)

$$y = 2\cdot10^{-5}\,x^3 - 0{,}0094\,x^2 + 1{,}6697\,x - 8{,}0593$$

8.3.3.5 Ανάλυση για τη DMA M το μήνα Ιούλιο



Γράφημα 108 DMA M - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Ιούλιος)

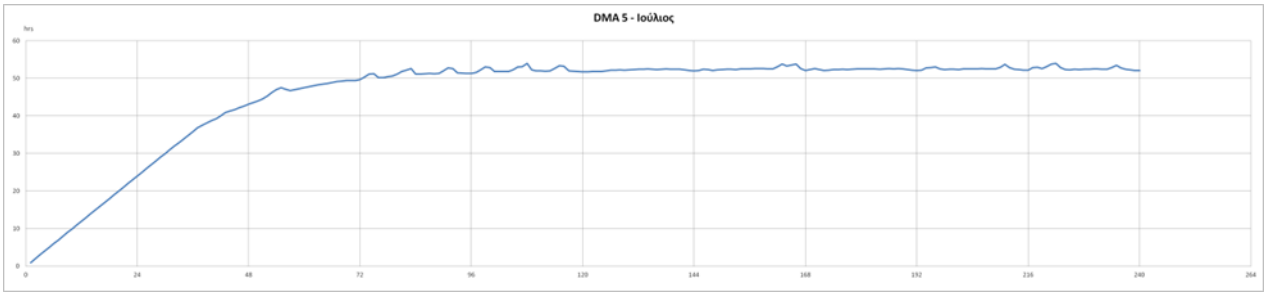
Στην περίπτωση της DMA M το μήνα Ιούλιο καταγράφεται μεταβολή της ηλικίας με αυξητικό ρυθμό μέχρι την 26η ώρα. Την 27η ώρα ανάλυσης εμφανίζεται μια αυξομείωση της ηλικίας διάρκειας μίας ώρας η οποία διακόπτει την ανοδική πορεία. Η αύξηση συνεχίζεται μέχρι την 45η ώρα όπου εντοπίζεται το ίδιο φαινόμενο με περισσότερες επαναλήψεις οι οποίες καταλαγιάζουν την 94η ώρα. Ακολουθεί μια φαινομενική στασιμότητα στην ανάπτυξη με μικρές αυξομειώσεις δίχως να παρουσιάσει σταθερό χαρακτήρα έως τις 240 ώρες που διαρκεί η ανάλυση. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 24,118 ώρες σε χρόνο t=57 ώρες. Η προκύπτουσα συνάρτηση ενηλικίωσης για το Σενάριο 2 και το μήνα Ιούλιο για τη DMA M είναι:

Εξίσωση 19 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA M)

$$y = -3\cdot10^{-12}\,x^6 + 3\cdot10^{-9}\,x^5 - 10^{-6}\,x^4 + 2\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}0208\,x^2 + 1{,}124\,x + 0{,}0638$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.3.6 Ανάλυση για τη DMA 5 το μήνα Ιούλιο



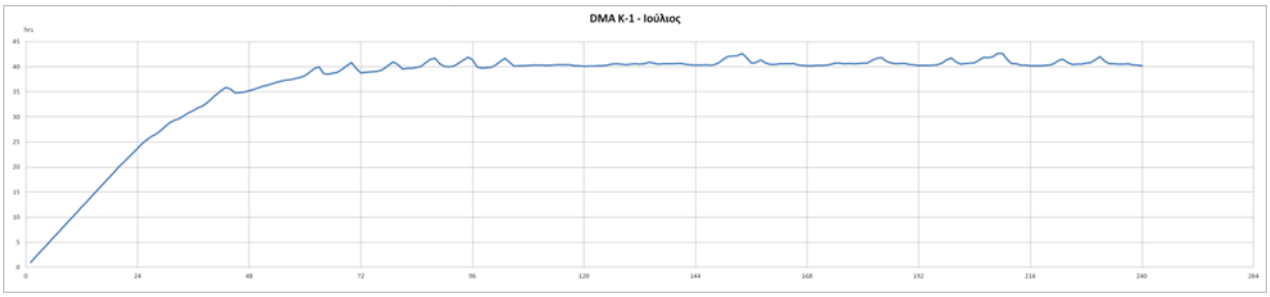
Γράφημα 109 DMA 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Ιούλιος)

Στη DMA 5 η ηλικία του νερού αυξάνεται συνεχώς μέχρι την 72η ώρα. Στη συνέχεια, παρατηρείται αυξομείωση μικρής διακύμανσης η οποία επαναλαμβάνεται με κάποια συχνότητα μέχρι την 5η ημέρα ανάλυσης όπου τερματίζει. Η υδραυλική ισορροπία φαίνεται να επέρχεται στο δίκτυο την 9η ημέρα (192η ώρα). Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 57,067 ώρες σε χρόνο t=86 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 2 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA 5 είναι:

Εξίσωση 20 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA 5)

$$y = -4 \cdot 10^{-11} x^5 - 8 \cdot 10^{-8} x^4 + 6 \cdot 10^{-5} x^3 - 0{,}0154 x^2 + 1{,}5542 x - 3{,}6017$$

8.3.3.7 Ανάλυση για τη DMA K-1 το μήνα Ιούλιο



Γράφημα 110 DMA K-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Ιούλιος)

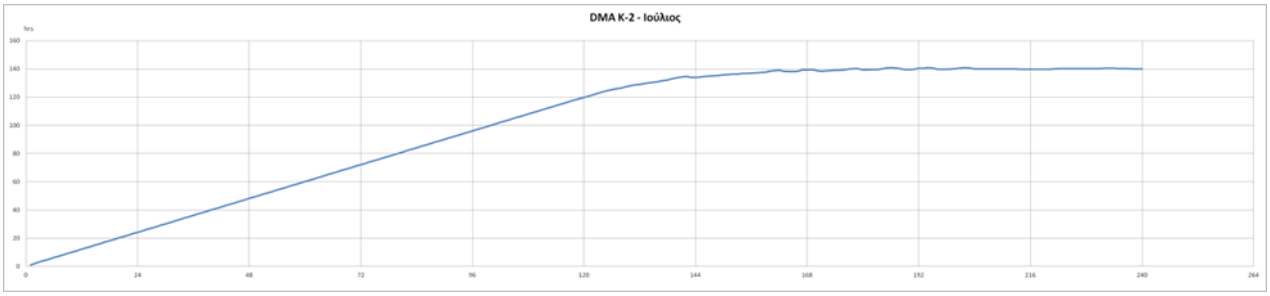
Μελετώντας τον τρόπο ανάπτυξης της γήρανσης του νερού στην DMA K-1 παρατηρείται ακριβώς η ίδια συμπεριφορά με εκείνη που παρουσίασαν οι DMA M και 5. Η αρχική αύξηση της ηλικίας του νερού διαρκεί μέχρι την 39η ώρα περίπου. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 61,698 ώρες σε χρόνο t=89 ώρες. Για το Σενάριο 2 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-1 είναι:

Εξίσωση 21 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-1)

$$y = 5 \cdot 10^{-10} x^5 - 4 \cdot 10^{-7} x^4 + 10^{-4} x^3 - 0{,}0203 x^2 + 1{,}5039 x - 2{,}3595$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.3.8 Ανάλυση για τη DMA K-2 το μήνα Ιούλιο



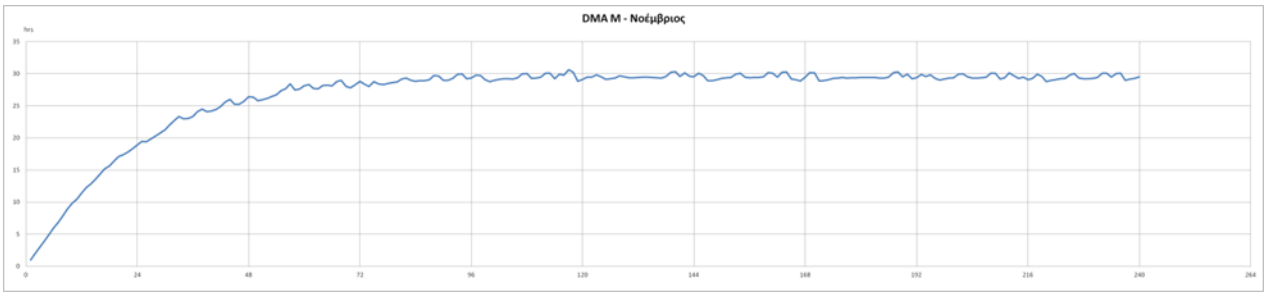
Γράφημα 111 DMA K-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Ιούλιος)

Εκ πρώτης όψεως, η ανάλυση της DMA K-2 παρουσιάζει γραμμικότητα στο ρυθμό ενηλικίωσης των υδάτων. Βέβαια, στην πραγματικότητα αποτελεί μια συνάρτηση πολλών μικρών αυξήσεων και πτώσεων της ηλικίας του νερού εντός των κόμβων της, δεν είναι ακριβώς γραμμική. Η εν λόγω περιοχή έχει μειωμένη ζήτηση τους θερινούς μήνες καθώς οι δραστηριότητές της ελαττώνονται σημαντικά με αποτέλεσμα η ηλικία να αυξάνεται διαρκώς. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 86,042 ώρες σε χρόνο t=117 ώρες. Για το Σενάριο 2 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-2 είναι:

Εξίσωση 22 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-1)

$$y = -10^{-11}\,x^6 + 10^{-8}\,x^5 - 3\cdot10^{-6}\,x^4 + 4\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}0231\,x^2 + 1{,}494x - 2{,}489$$

8.3.3.9 Ανάλυση για τη DMA M το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 112 DMA M - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Νοέμβριος)

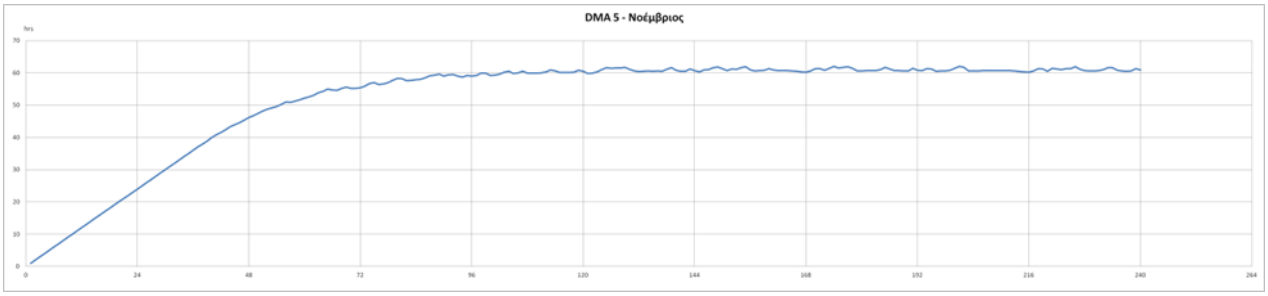
Στην περίπτωση της DMA M η υδραυλική ισορροπία επέρχεται πολύ νωρίς. Η αύξηση της ηλικίας παρατηρείται έως την 28η ώρα περίπου, ενώ στη συνέχεια εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις σε σταθερό μοτίβο. Οι τιμές των διακυμάνσεων δε διαφέρουν περισσότερο από 2-3 ώρες μεταξύ τους. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 30,633 ώρες σε χρόνο t=117 ώρες. Για το Σενάριο 2 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA M είναι:

Εξίσωση 23 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA M)

$$y = -3\cdot10^{-12}\,x^6 + 3\cdot10^{-9}\,x^5 - 10^{-6}\,x^4 + 2\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}0207\,x^2 + 1{,}1982x - 0{,}3405$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.3.10 Ανάλυση για τη DMA 5 το μήνα Νοέμβριο



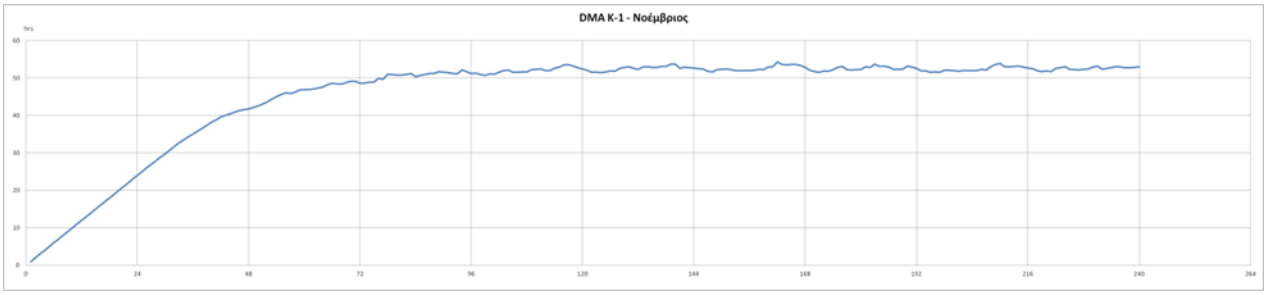
Γράφημα 113 DMA 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Νοέμβριος)

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση της DMA 5 είναι παρόμοια με εκείνα της DMA Μ. Η μόνη ουσιαστική διαφορά είναι ότι η ανοδική πορεία που ακολουθεί η ηλικία του νερού φτάνει μέχρι την 62η ώρα ανάλυσης περίπου. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 62,093 ώρες σε χρόνο t=201 ώρες. Έτσι, για το Σενάριο 2 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA 5 είναι:

Εξίσωση 24 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA 5)

$$\mathbf{y = -7{\cdot}10^{-8}\,x^4 + 5{\cdot}10^{-5}\,x^3 - 0{,}014\,x^2 + 1{,}5883\,x - 4{,}5149}$$

8.3.3.11 Ανάλυση για τη DMA K-1 το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 114 DMA K-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Νοέμβριος)

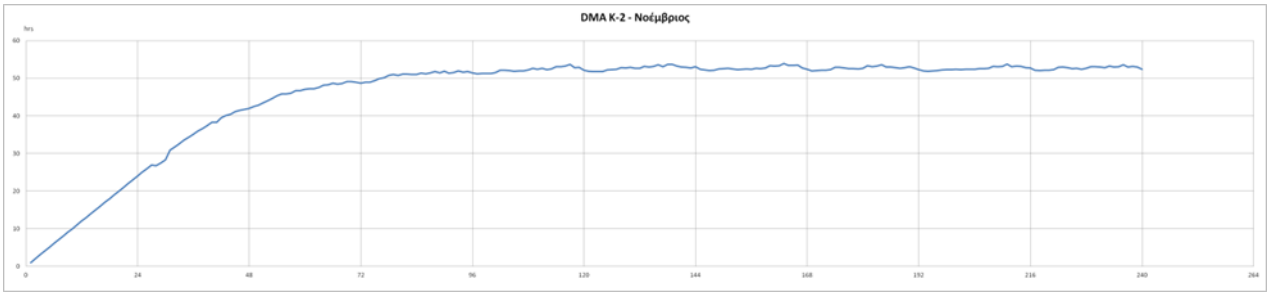
Κοινή συμπεριφορά απεικονίζεται και στη DMA K-1. Όπως και στην προηγούμενη ανάλυση, η διαρκής μεγάλου ρυθμού αύξηση στην τιμή της ηλικίας του νερού λήγει την 62η ώρα, ενώ η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 54,399 ώρες σε χρόνο t=162 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 2 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης της DMA K-1 είναι:

Εξίσωση 25 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-1)

$$\mathbf{y = 10^{-10}\,x^5 - 2{\cdot}10^{-7}\,x^4 + 7{\cdot}10^{-5}\,x^3 - 0{,}0158\,x^2 + 1{,}5319\,x - 3{,}2989}$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.3.12 Ανάλυση για τη DMA K-2 το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 115 DMA K-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το δεύτερο Σενάριο (Νοέμβριος)

Η DMA K-2 εμφανίζει κι εδώ μια «γραμμική» συμπεριφορά σε σχέση με τις άλλες DMA καθώς σε ένα ευρύτερο πλαίσιο παρουσιάζει μονίμως αυξητική τάση στην ανάπτυξη της ηλικίας του ύδατος, με μοναδικό διάστημα διάσπασης αυτής της «γραμμικότητας» μεταξύ της 27ης και 31ης ώρας. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 54,02 ώρες σε χρόνο t=163 ώρες. Για το Σενάριο 2 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-2 είναι:

Εξίσωση 26 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-2)

$$y = 6 \cdot 10^{-11} x^5 - 10^{-7} x^4 + 7 \cdot 10^{-5} x^3 - 0{,}0151 x^2 + 1{,}5135 x - 3{,}2349$$

Και στην περίπτωση του δεύτερου Σεναρίου η συνάρτηση ενηλικίωσης εμφανίζει κοινή συμπεριφορά σε όλες τις DMA για τον ίδιο μήνα, με τη DMA K-2 να παρεκκλίνει από αυτή την ομοιομορφία κυρίως το μήνα Φεβρουάριο, λιγότερο τον Ιούλιο, ώσπου τελικά έχει κοντινότερη συμπεριφορά με τις υπόλοιπες DMAs το Νοέμβριο. Ωστόσο, η συμπεριφορά αυτή διαφέρει από μήνα σε μήνα.

Ο μήνας Ιούλιος είναι ο μήνας όπου το γράφημα ενηλικίωσης φανερώνει κοινή συμπεριφορά όλων των υπό μελέτη DMAs. Η μέγιστη ηλικία νερού καταγράφεται μετά την 100η ώρα σε κάθε DMA και το νερό διατηρείται πιο φρέσκο σε σχέση με το Σενάριο 1ο .

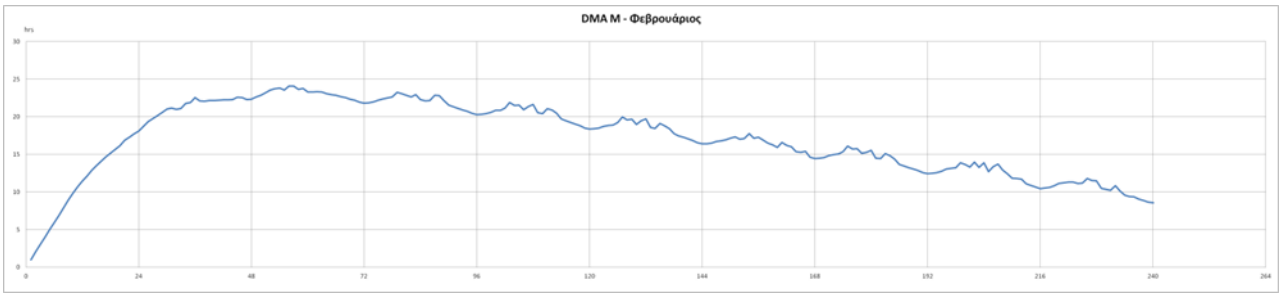
Οι μήνες Νοέμβριος και Φεβρουάριος δεν έχουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με το μήνα Ιούλιο, με μόνη εξαίρεση τη συμπεριφορά της υποζώνης K-2 όπου η ηλικία του νερού είναι συνεχώς αυξανόμενη. Γεγονός που εξηγείται πάλι από την εποχή, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν δηλαδή κι από τις απαιτήσεις της κάθε περιόδου. Ενώ γενικότερα η DMA K-2 αποτελεί περιοχή με μικρότερη ζήτηση όντας αρκετά απομακρυσμένη από το κέντρο της πόλης.

Με την εφαρμογή των παραμέτρων του 2ου Σεναρίου εξάγεται ως συμπέρασμα ότι η αύξηση της ηλικίας του νερού ρυθμίζεται τρόπον τινά. Διαχωρίζοντας το δίκτυο σε στεγανές υποζώνες παύει η διαρκής αυτή αύξηση και επιτυγχάνεται η διατήρηση της ηλικίας των υδάτων εντός του δικτύου σε τέτοιο επίπεδο που να καθίσταται φρέσκο και κατάλληλο για κατανάλωση. Διαπιστώθηκε ότι σε έκαστη υποζώνη η μέγιστη τιμή ηλικίας του νερού εντοπίζεται σε διαφορετικό μήνα. Το γεγονός αυτό είναι άξιο μνείας και οφείλεται στην εξάρτηση της ζήτησης κάθε περιοχής από το μέγεθος του πληθυσμού αυτής, τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται εντός της και την ύπαρξη υποδομών (κτίρια, εγκαταστάσεις) των οποίων η λειτουργία διαφοροποιείται ανά μήνα ή εποχή του χρόνου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.4. Συνάρτηση ενηλικίωσης. Σενάριο 3ο: Διαχωρισμός του δικτύου σε DMAs και εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης της πίεσης (Με DMAs, Με PRVs).

8.3.4.1 Ανάλυση για τη DMA M το μήνα Φεβρουάριο



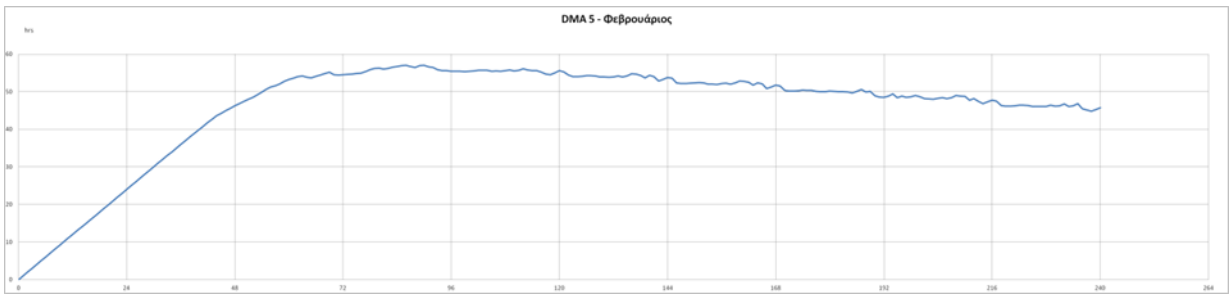
Γράφημα 116 DMA M - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

Παρατηρώντας το γράφημα της DMA M η ηλικία του νερού αυξάνεται συνεχώς μέχρι την 31η ώρα. Στη συνέχεια, ακολουθεί μειωτική τάση με συγκεκριμένο τρόπο μείωσης ο οποίος εμφανώς επηρεάζεται από τη ζήτηση της κάθε ώρας της ημέρας. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 24,091 ώρες σε χρόνο t=57 ώρες. Για το Σενάριο 3 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA M είναι:

Εξίσωση 27 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA M)

$$y = -5 \cdot 10^{-12} x^6 + 5 \cdot 10^{-9} x^5 - 2 \cdot 10^{-6} x^4 + 3 \cdot 10^{-4} x^3 - 0{,}0267 x^2 + 1{,}293 x - 0{,}6898$$

8.3.4.2 Ανάλυση για τη DMA 5 το μήνα Φεβρουάριο



Γράφημα 117 DMA 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

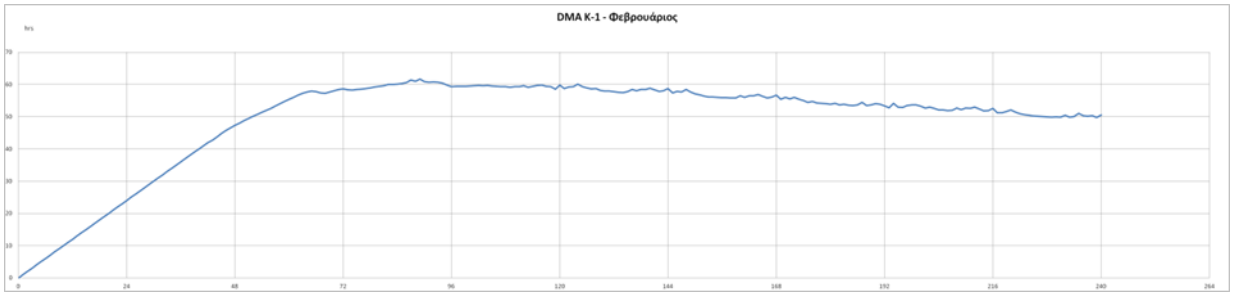
Στην ανάλυση DMA 5 εντοπίζεται και για το τρίτο σενάριο αύξηση της ηλικίας του νερού, η οποία διακόπτεται την 63η ώρα (περίπου στο μέσον της 3ης ημέρας δηλαδή) κι έπεται πτωτική τάση του ρυθμού ενηλικίωσης αυτής με μοτίβο το οποίο επαναλαμβάνεται. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 57,099 ώρες σε χρόνο t=90 ώρες. Έτσι, για το Σενάριο 3 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA 5 είναι:

Εξίσωση 28 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA 5)

$$y = -8 \cdot 10^{-8} x^4 + 6 \cdot 10^{-5} x^3 - 0{,}0157 x^2 + 1{,}6672 x - 4{,}9312$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.4.3 Ανάλυση για τη DMA K-1 το μήνα Φεβρουάριο



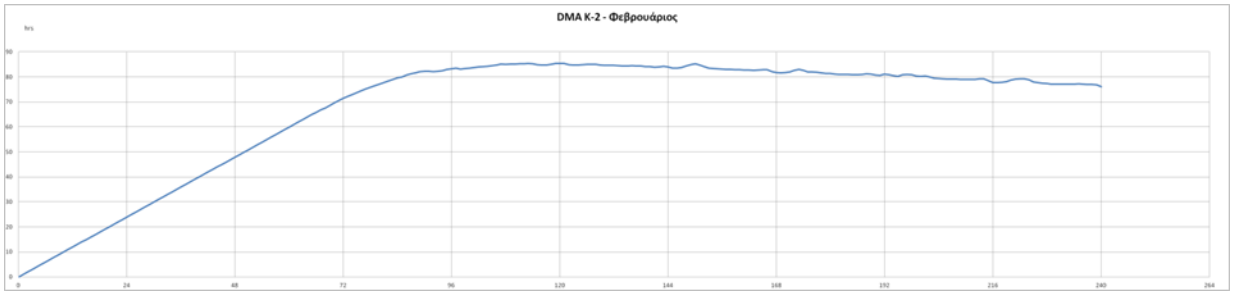
Γράφημα 118 DMA K-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

Στη DMA K-1 η αύξηση της ηλικίας του νερού εντοπίζεται έως την 65η ώρα. Ακολουθεί ένα χρονικό διάστημα πτώσης με μικρές αυξομειώσεις ώσπου να επέλθει υδραυλική ισορροπία στο δίκτυο κατά την 6η ημέρα μελέτης. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 61,694 ώρες σε χρόνο t=89 ώρες. Επομένως, για το Σενάριο 3 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-1 είναι:

Εξίσωση 29 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-1)

$$y = -7 \cdot 10^{-8} x^4 + 5 \cdot 10^{-5} x^3 - 0{,}0146 x^2 + 1{,}67 x - 5{,}3227$$

8.3.4.4 Ανάλυση για τη DMA K-2 το μήνα Φεβρουάριο



Γράφημα 119 DMA K-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Φεβρουάριος)

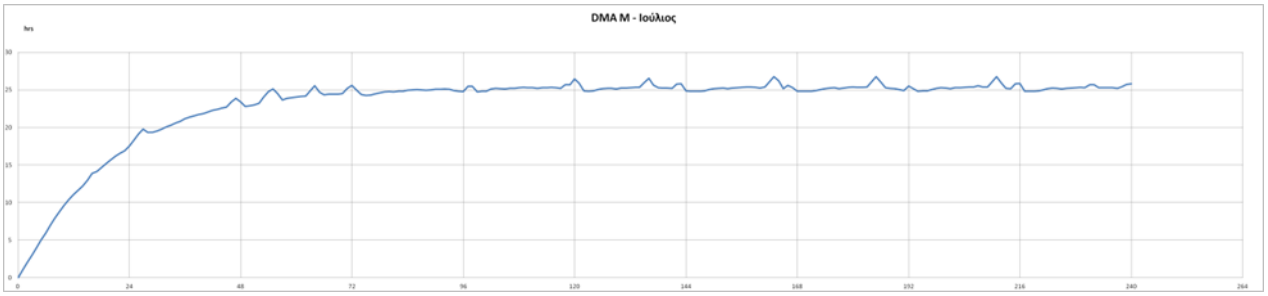
Η γραφική παράσταση ηλικίας-χρόνου ανάλυσης της DMA K-2 εμφανίζει και στο τρίτο Σενάριο μικρή διαφοροποίηση στο εύρος ελαχίστων-μεγίστων τιμών γήρανσης. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 85,542 ώρες σε χρόνο t=113 ώρες. Για το Σενάριο 3 και το μήνα Φεβρουάριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-2 είναι:

Εξίσωση 30 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-2)

$$y = -2 \cdot 10^{-9} x^5 + 10^{-6} x^4 - 3 \cdot 10^{-4} x^3 + 0{,}019 x^2 + 1{,}5761 x + 1{,}8669$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.4.5 Ανάλυση για τη DMA M το μήνα Ιούλιο



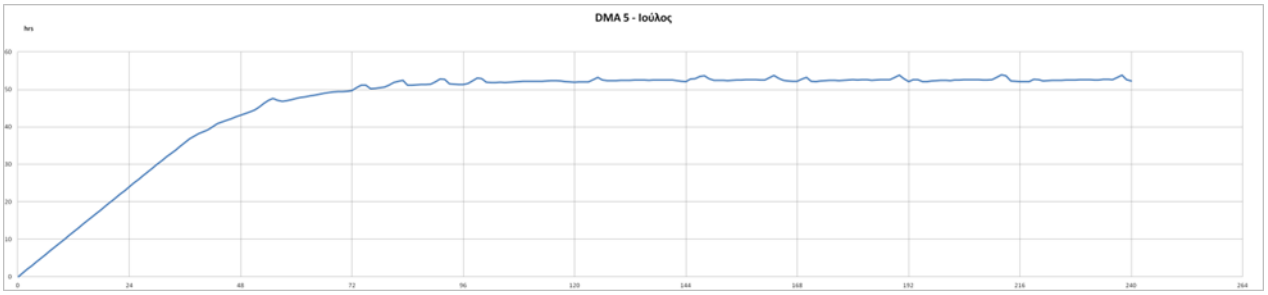
Γράφημα 120 DMA M - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Ιούλιος)

Στην περίπτωση της DMA M η ηλικία του νερού αυξάνεται μέχρι την 26η ώρα, όπου τη διαδέχονται διαστήματα αυξομείωσης ώσπου η υποζώνη να ισορροπήσει την 152η ώρα. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 26,781 ώρες σε χρόνο t=211 ώρες. Για το Σενάριο 3 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA M που προκύπτει είναι:

Εξίσωση 31 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA M)

$$y = -4\cdot10^{-12}\,x^6 + 3\cdot10^{-9}\,x^5 - 10^{-6}\,x^4 + 2\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}0218\,x^2 + 1{,}1455\,x - 0{,}0376$$

8.3.4.6 Ανάλυση για τη DMA 5 το μήνα Ιούλιο



Γράφημα 121 DMA 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Ιούλιος)

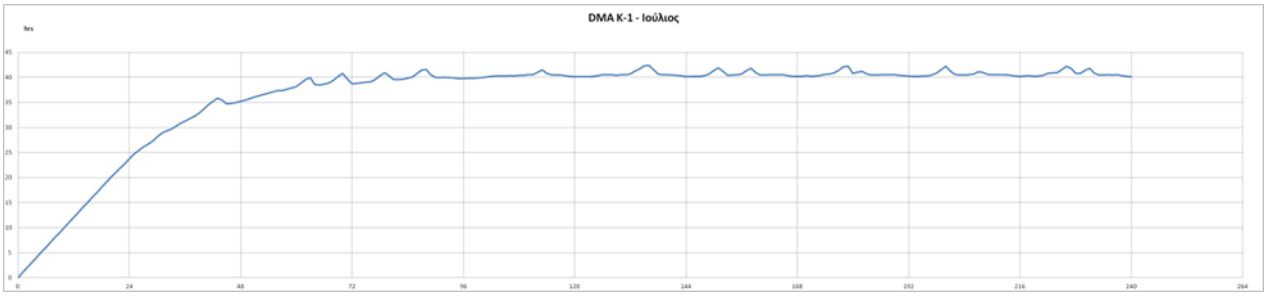
Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η ηλικία του νερού στη DMA 5 είναι παρόμοιος με εκείνον της DMA M. Διαφοροποιείται μονάχα στις τιμές που λαμβάνει -ελάχιστες και μέγιστες- στο μοτίβο μείωσης μετά την 154η ώρα μελέτης όπου εντοπίζεται η υδραυλική ισορροπία του συστήματος. Η ανοδική πορεία διακόπτεται την 55η ώρα, ενώ η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 53,926 ώρες σε χρόνο t=212 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 3 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA 5 είναι:

Εξίσωση 32 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA 5)

$$y = 10^{-11}\,x^6 - 7\cdot10^{-9}\,x^5 + 2\cdot10^{-6}\,x^4 - 2\cdot10^{-4}\,x^3 - 2\cdot10^{-4}\,x^2 + 1{,}1823x - 1{,}281$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.4.7 Ανάλυση για τη DMA K-1 το μήνα Ιούλιο



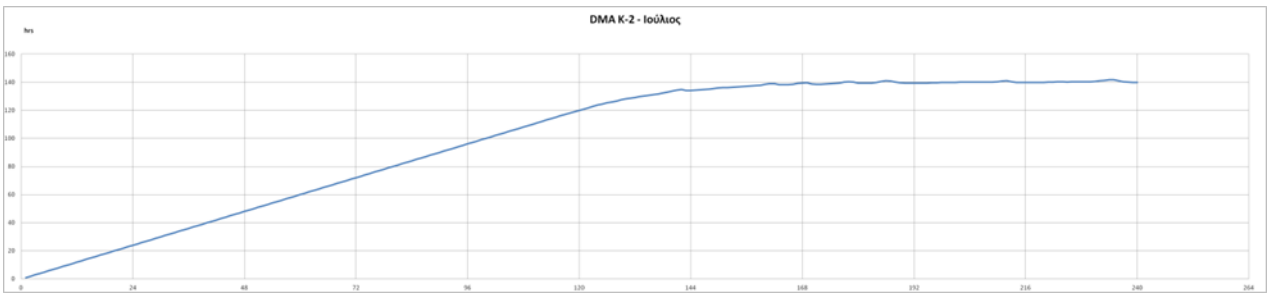
Γράφημα 122 DMA K-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Ιούλιος)

Το όριο της γήρανσης του ύδατος με συνεχόμενο αυξητικό ρυθμό εντοπίζεται την 44η ώρα μελέτης για την υποζώνη DMA K-1. Έπειτα, ο ρυθμός αυτός εντείνεται για λίγο και ξαναπέφτει στο αρχικό επίπεδο των 2 πρώτων ημερών. Στο χρονικό διάστημα μεταξύ 61ης και 88ης ώρας ανάλυσης εμφανίζονται απότομες αυξομειώσεις ώσπου να επέλθει υδραυλική ισορροπία στο τέλος της 6ης ημέρας περίπου. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 42,461 ώρες σε χρόνο t=136 ώρες. Για το Σενάριο 3 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-1 είναι:

Εξίσωση 33 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-1)

$$y = -10^{-7}\,x^4 + 7\cdot10^{-5}\,x^3 - 0{,}0142\,x^2 + 1{,}2865\,x - 0{,}4924$$

8.3.4.8 Ανάλυση για τη DMA K-2 το μήνα Ιούλιο



Γράφημα 123 DMA K-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Ιούλιος)

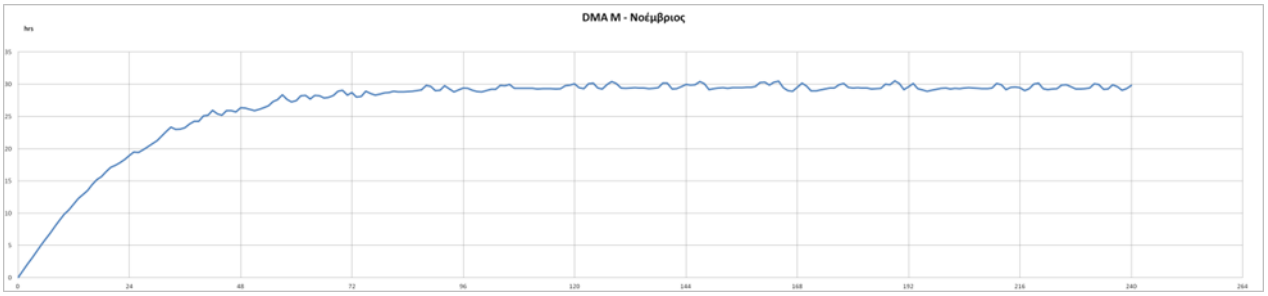
Στο παραπάνω γράφημα καθίσταται εμφανές ότι η ανοδική πορεία ενηλικίωσης του νερού διαρκεί πολύ περισσότερο απ' ότι στις υπόλοιπες DMA. Ειδικότερα, η μεγάλου ρυθμού αυξητική τάση σταματάει στη διάρκεια της 7ης ημέρας -λίγο πριν το πέρας αυτής- και τη διαδέχεται μικρού ρυθμού αύξηση ώσπου να επέλθει ισορροπία στο δίκτυο την 176η ώρα της ανάλυσης. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 141,687 ώρες σε χρόνο t=234 ώρες. Για το Σενάριο 3 και το μήνα Ιούλιο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-2 είναι:

Εξίσωση 34 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-2)

$$y = -10^{-11}\,x^6 + 10^{-8}\,x^5 - 3\cdot10^{-6}\,x^4 + 4\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}0237\,x^2 + 1{,}5076\,x - 2{,}5566$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.4.9 Ανάλυση για τη DMA M το μήνα Νοέμβριο



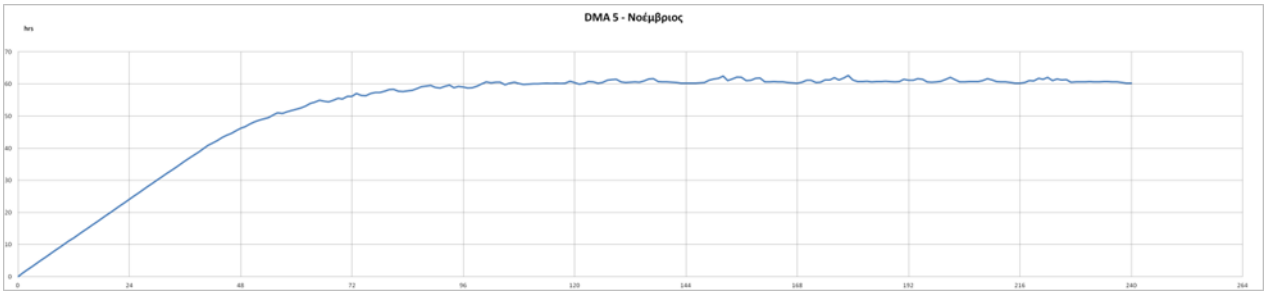
Γράφημα 124 DMA M - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Νοέμβριος)

Στην περίπτωση της DMA M η μόνιμη αύξηση της ηλικίας του νερού διακόπτεται την 32η ωρα, λίγο πριν το πέρας της 2ης ημέρας μελέτης. Εν συνεχεία, παρατηρείται αυξομείωση ταχύρρυθμης, αλλά μικρής μεταβλητότητας. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 30,55 ώρες σε χρόνο t=189 ώρες. Για το Σενάριο 3 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA M είναι:

Εξίσωση 35 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA M)

$$y = -3\cdot10^{-12}\,x^6 + 3\cdot10^{-9}\,x^5 - 10^{-6}\,x^4 + 2\cdot10^{-4}\,x^3 - 0{,}0209\,x^2 + 1{,}2059\,x - 0{,}368$$

8.3.4.10 Ανάλυση για τη DMA 5 το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 125 DMA 5 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Νοέμβριος)

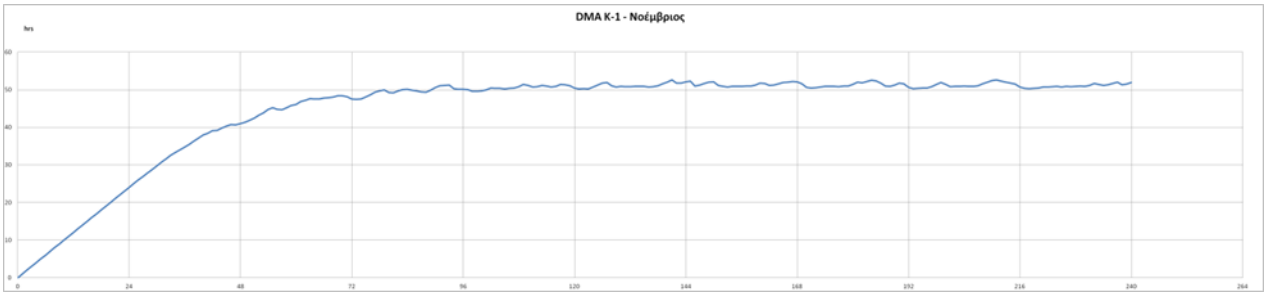
Η ενηλικίωση των υδάτων στη DMA 5 ομοιάζει αυτή της DMA M. Σε αυτή την περίπτωση η σταθερή αύξηση παύει την 56η ώρα, από όπου αρχίζει ένα μοτίβο μικρών αυξομειώσεων το οποίο σταθεροποιείται σε μια τιμή 59,86 ωρών για τις 240 ώρες της ανάλυσης. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 62,747 ώρες σε χρόνο t=179 ώρες. Επομένως, για το Σενάριο 3 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA 5 είναι:

Εξίσωση 36 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA 5)

$$y = -10^{-11}\,x^6 - 9\cdot10^{-9}\,x^5 + 3\cdot10^{-6}\,x^4 - 3\cdot10^{-4}\,x^3 + 0{,}0096\,x^2 + 0{,}962\,x - 0{,}3835$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

8.3.4.11 Ανάλυση για τη DMA K-1 το μήνα Νοέμβριο



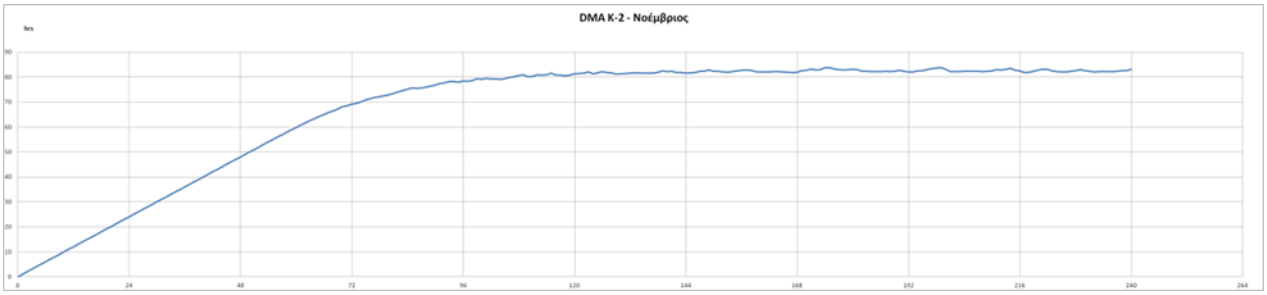
Γράφημα 126 DMA K-1 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Νοέμβριος)

Η ανάπτυξη στην ηλικία του ύδατος της DMA K-1 ακολουθεί την πορεία των υπόλοιπων ζωνών. Την 42η ώρα μελέτης ανακόπτεται ο μεγάλος ρυθμός ενηλικίωσης και η υδραυλική ισορροπία επέρχεται την 103η ώρα. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 52,685 ώρες σε χρόνο t=211 ώρες. Άρα, για το Σενάριο 3 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-1 είναι:

Εξίσωση 37 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-1)

$$y = 8 \cdot 10^{-12} x^6 - 6 \cdot 10^{-9} x^5 + 10^{-6} x^4 - 10^{-4} x^3 - 0{,}0034 x^2 + 1{,}2189 x - 1{,}2837$$

8.3.4.12 Ανάλυση για τη DMA K-2 το μήνα Νοέμβριο



Γράφημα 127 DMA K-2 - Ρυθμός ενηλικίωσης του νερού για το τρίτο Σενάριο (Νοέμβριος)

Η τελευταία ανάλυση για το τρίτο Σενάριο διαπιστώνεται ως η πιο ομαλοποιημένη τόσο στη διακύμανση όσο και στα σημεία αλλαγής της συμπεριφοράς ενηλικίωσης. Η ανοδική πορεία διακόπτεται την 85η ώρα όπου έπεται το στάδιο της αυξομείωσης σε σταθερό μοτίβο. Στη συγκεκριμένη γραφική παράσταση η διαφορά ελάχιστης και μέγιστης τιμής ηλικίας στο μοτίβο είναι πολύ μικρή, γεγονός που υποδεικνύει ότι το νερό στους κόμβους της K-2 DMA διατηρείται σε σχετικά σταθερό επίπεδο ηλικίας. Η μέγιστη καταγεγραμμένη ηλικία ισούται με agemax= 52,685 ώρες σε χρόνο t=211 ώρες. Τελικά, για το Σενάριο 3 και το μήνα Νοέμβριο, η συνάρτηση ενηλικίωσης για τη DMA K-2 είναι:

Εξίσωση 38 Συνάρτηση ενηλικίωσης (DMA K-2)

$$y = -2 \cdot 10^{-9} x^5 + 10^{-6} x^4 - 0{,}0002 x^3 + 0{,}0112 x^2 + 0{,}8283x + 0{,}2728$$

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη του 3ου Σεναρίου είναι σε μεγάλο βαθμό παρόμοια με αυτά του 2ου Σεναρίου. Η DMA K-2 και σε αυτή την υπόθεση αποτελεί την πιο ιδιάζουσα υποζώνη. Πλέον όμως, με την εγκατάσταση των βαλβίδων που ρυθμίζουν την πίεση εντός του δικτύου εντοπίζεται ομοιογένεια στον τρόπο ενηλικίωσης του νερού σε όλους τους

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

μήνες μελέτης για κάθε υποζώνη. Επιπλέον, και στο 3ο Σενάριο οι γραφικές απεικονίσεις που αποτυπώνουν το ρυθμό ενηλικίωσης του ύδατος στους κόμβους του δικτύου κάθε υποζώνης που μελετάται και τον τρόπο με τον οποίο αυτός εξελίσσεται στο χρονικό διάστημα των 10 ημερών ανάλυσης συνάδει με το ρυθμό αύξησης της μείωσης που έπεται της υδραυλικής ισορροπίας η οποία δεν επέρχεται την ίδια στιγμή σε καμία από τις περιπτώσεις που εξετάζονται, αλλά βρίσκει ταύτιση μεταξύ υποζώνης-μήνα μεταξύ του 2ου και 3ου Σεναρίου.

Όπως προαναφέρθηκε, όλα τα γραφήματα έχουν προκύψει μετά από προσαρμογή των συναρτήσεων που παρέχονται από το υπολογιστικό λογισμικό (curve fitting). Σε διαγράμματα όμοιας μορφής η όποια διαφορά εντοπίζεται στην τάξη κάθε πολυωνυμικής εξίσωσης οφείλεται στη διαφορά κλίσης που υπάρχει μεταξύ τους και αιτιολογείται από το γεγονός ότι σε κάθε περίπτωση μεταβάλλεται η τιμή ανάπτυξης της ηλικίας του νερού. Έτσι επιτεύχθηκε ο στόχος της περιγραφής της κάθε καμπύλης ενηλικίωσης με συνάρτηση που δίδει τη δυνατότητα, σε κάθε διαχειριστή να προβλέπει τα αποτελέσματα του κάθε σεναρίου ως προς την ηλικία στην πάροδο του χρόνου.

8.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ο ρυθμός ενηλικίωσης έρχεται λοιπόν να καλύψει ένα κενό στον τρόπο παρακολούθησης των δικτύων αλλά και αξιολόγησης των επιπτώσεων σε κάθε σενάριο υλοποίησης. Με τον ρυθμό υπάρχει μία ένδειξη που άμεσα κρούει τον κώδωνα του κινδύνου όταν μία πιθανή επέμβαση που μελετάται μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του νερού. Κι αυτό χωρίς να απαιτηθεί η ανάλυση χιλιάδων ωρών και χιλιάδων παραμέτρων που θα απαιτούσε πολύ χρόνο και υπολογιστικούς πόρους. Πρέπει να κρατηθούν οι παρακάτω εντυπώσεις ώστε να διδαχθούμε από τη μελέτη του ρυθμού ενηλικίωσης των δικτύων:

- Το κάθε δίκτυο μπορεί να έχει ‘απρόβλεπτη’ συμπεριφορά όσο αφορά την εξέλιξη της ηλικίας. Υπάρχουν τόσες παράμετροι που επηρεάζουν την καμπύλη ενηλικίωσης που κανείς οπτικά δεν μπορεί να τους δαμάσει.
- Η καμπύλη ενηλικίωσης και η μελέτη του ρυθμού ειδικά όταν συνοδεύεται από την περιγραφή μιας συνάρτησης απαιτεί ενημέρωση κάθε φορά που αλλάζει κάτι στο δίκτυο ή την υποζώνη. Η διαρκής ενημέρωση των δεδομένων του ψηφιακού διδύμου είναι απόλυτα αναγκαία ώστε το μοντέλο να δώσει ρεαλιστικά δεδομένα και η εκτίμηση του ρυθμού να έχει αξία.
- Τα δαιδαλώδη δίκτυα απαιτούν ζωνοποίηση για την ουσιαστική παρακολούθηση της ηλικίας σε ζώνες που παρουσιάζουν ενιαία ενηλικίωση είτε είναι ταχεία η εξέλιξή της ή σταθερή. Έτσι μόνο γνωρίζοντας κανείς μπορεί να λάβει τα μέτρα του ώστε να διορθώσει ή να ισοσταθμίσει οποιαδήποτε ενέργεια χωρίς δυσχέρειες.
- Οι στεγανές ζώνες που δημιουργούνται επηρεάζονται πολύ από την ύπαρξη και το πλήθος των εξόδων τους καθώς και της ποσότητας νερού που διοχετεύεται κατάντη. Προφανώς οι τελικές υποζώνες που δεν έχουν έξοδο νερού προς άλλη σημαντική κατανάλωση, εμφανίζουν τον πιο μεγάλο ρυθμό ενηλικίωσης και πρέπει να τύχουν ειδικής παρατήρησης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

- Ένα δίκτυο αναβαθμίζεται πολύ όταν αποκτά περισσότερες από μία εισόδους νερού και περιφερειακοί αγωγοί κυκλώνουν απομακρυσμένες περιοχές και τις παρέχουν νερό με πολύ μικρότερο χρόνο ταξιδιού από τις δεξαμενές. Ρυθμίζεται έτσι και η πίεση της περιοχής αν υπάρχει πρόβλημα αφού τείνει να εμφανίζεται μεγάλη ηλικία στις ζώνες με χαμηλές πιέσεις.

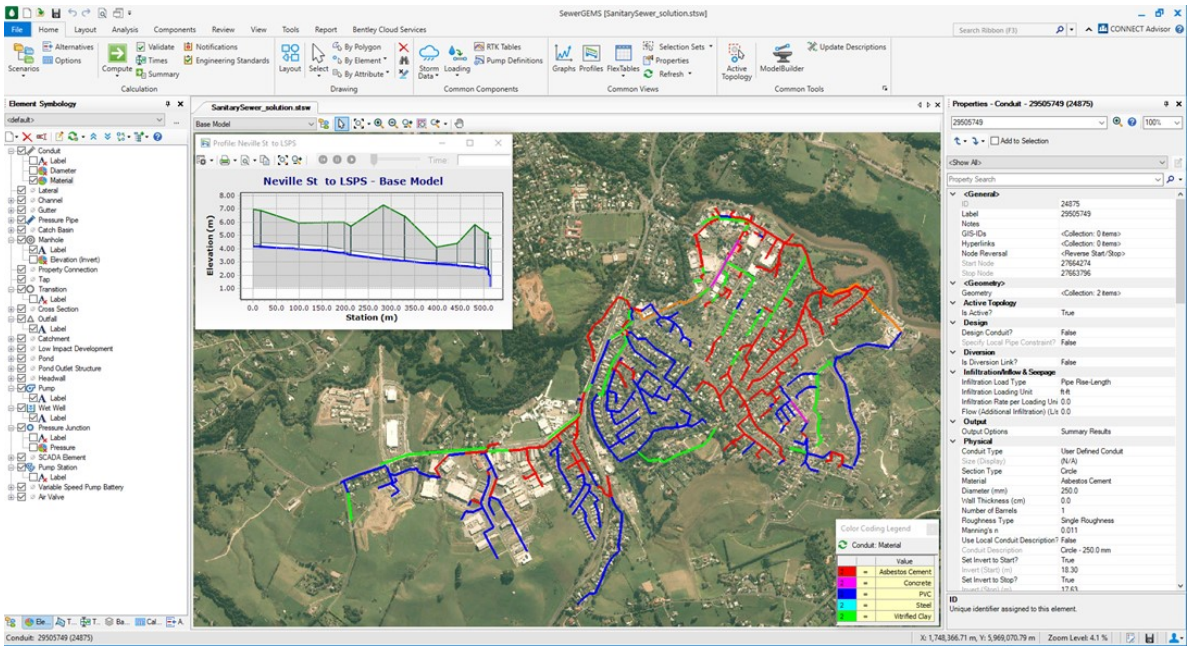
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Το Ενεργειακό Δυναμικό Των Δικτυών Μεταφοράς Και Διανομής Νερού Των Πόλεων.

Κάθε δίκτυο διανομής και μεταφοράς νερού έχει ενεργειακές ανάγκες. Ακόμα και σε ελάχιστο επίπεδο που αυτές περιορίζονται σε ανάγκες τηλεδιαχείρισης και συγκομιδής δεδομένων, αφού το δίκτυο λειτουργεί μόνο βαρυτικά. Ή είμαστε στην περίπτωση που απαιτείται ενέργεια για χειρισμούς, άντληση και υδραυλική ανύψωση. Σε κάθε περίπτωση είναι μεγάλη απώλεια να μην εξετάσει κανείς τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας μέσα από ένα δίκτυο κλειστών αγωγών. Σε αυτό το κεφάλαιο δεν θα ασχοληθούμε με εξοικονόμηση ενέργειας από νέους μηχανολογικούς εξοπλισμούς που θα καταναλώσουν λιγότερες kwh για να παράγουν το ίδιο έργο ή για να επιλέξουμε τουρμπίνες κλασικού τύπου pelton ή francis ώστε να μετατρέψουμε όλη την ενέργεια του νερού σε κινητική και έπειτα ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αυτό το κεφάλαιο, ως υδραυλικοί πολιτικοί μηχανικοί θα ασχοληθούμε με την εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού ενός δικτύου, δηλαδή την δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας μέσα από ένα δίκτυο άρτια και χωρίς αρνητικές επιπτώσεις σε παροχές και πιέσεις αλλά θα φτάσουμε να προτείνουμε και μηχανολογική διάταξη και συνδεσμολογία που έχει μοναδικά χαρακτηριστικά με τα σημερινά δεδομένα.

9.1. Ο ρόλος των ψηφιακών διδύμων και των λογισμικών υδραυλικής επίλυσης στην διαχείριση και την ανάκτηση ενέργειας στα δίκτυα ύδρευσης

Τα λογισμικά υδραυλικής προσομοίωσης είναι τα πλέον ολοκληρωμένα εργαλεία για λήψη αποφάσεων σε δίκτυα ύδρευσης. Ένα τέτοιο λογισμικό συμβάλλει στην κατανόηση της συμπεριφοράς των δικτύων ύδρευσης ως ένα ενιαίο καθολικό σύστημα, εφαρμόζοντας στρατηγικές επιχειρησιακού χαρακτήρα στα συγκεκριμένα δίκτυα, όπως επίσης και πως θα πρέπει αυτά να αναπτυχθούν σε παράλληλη φάση με την αύξηση του πληθυσμού και της ζήτησης.



Εικόνα 62 Απόσπασμα λογισμικού από παράδειγμα μελέτης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων λογισμικών με την εφαρμογή τους σε ψηφιακά δίδυμα είναι πολλά και παρέχουν τις εξής δυνατότητες στο χειριστή:

- **Έξυπνος σχεδιασμός για την αξιοπιστία του συστήματος.** Όταν υπάρχει πρόβλεψη επέκτασης του δικτύου θα πρέπει να γίνεται αξιολόγηση της επίδρασης στην λειτουργία του και στις πιθανές αλλαγές που προκύπτουν στον τρόπο εξυπηρέτησης των καταναλωτών.
- **Βελτιστοποίηση της λειτουργίας για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου**. Ο σχεδιασμός ενός πολύπλοκου υδραυλικού συστήματος μπορεί να αποτελέσει μία δύσκολη διαδικασία. Πλέον είναι εφικτή η μοντελοποίηση αντλιών με ακρίβεια, η βελτιστοποίηση της λειτουργία τους, ο προγραμματισμός για τη διακοπή της λειτουργίας τους καθώς και επανεκκινήσεις προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ενόχληση.
- **Αξιόπιστη λήψη αποφάσεων για την ανανέωση των στοιχείων του συστήματος ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητά του**. Οι αποφάσεις που σχετίζονται με την ανανέωση ή/και την αντικατάσταση τμημάτων των δικτύων ύδρευσης, απαιτούν μια μεγάλη δεξαμενή δεδομένων για όλα τα στοιχεία του δικτύου, με ταυτόχρονη ανάλυση και σύγκριση μεγάλου εύρους μεταβλητών.
- **Αξιολόγηση της ικανότητας πυρόσβεσης.** Υφίσταται η δυνατότητα σχεδιασμού βελτιώσεων που αφορούν την διαστασιολόγηση και την όδευση των αγωγών, τη θέση των βαλβίδων, των αντλιών και των δεξαμενών, προκειμένου να καλύπτονται οι ανάγκες της πυρόσβεσης.
- **Ανάπτυξη και διαχείριση υδραυλικών μοντέλων**. Αποτελεσματική κατασκευή και διαχείριση μοντέλου προσομοίωσης με στόχο να λαμβάνονται εύκολα αποφάσεις. Στοιχεία που αφορούν εξωτερικές πηγές μπορούν να εισαχθούν με εύκολο τρόπο, συμβάλλοντας στη αυτοματοποίηση της δημιουργίας γεωχωρικών δεδομένων.
- **Σχεδιασμός δικτύων διανομής νερού**. Αξιοποίηση μοντέλων υδραυλικής προσομοίωσης που θα οδηγήσουν στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενός πολύπλοκου υδροδοτικού συστήματος και δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας και ζήτησης.
- **Ανάπτυξη πλάνων για το καθαρισμό του δικτύου (flushing plans).** Σχεδιασμός προγραμμάτων καθαρισμού δικτύου με πολλά συμβατικά μέσα και σε κάθε περίπτωση ενσωματωμένα σ’ ένα μόνο πρόγραμμα. Προγραμματισμός αύξησης της ταχύτητας στους μεγάλους αγωγούς ώστε να απομακρυνθούν στερεά κατάλοιπα, με γνώμονα αξιολόγησης της επιτυχίας τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί σε κάθε αγωγό.
- **Ανίχνευση απωλειών.** Μέσω της μείωσης των απωλειών μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση νερού και αύξηση του κέρδους.
- **Διαχείριση ενέργειας**. Προσφέρεται η δυνατότητα ακριβούς προσομοίωσης της λειτουργίας των αντλιών, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων συνδυασμών λειτουργίας με στόχο την κατανόηση της επίδρασης ποικίλων στρατηγικών λειτουργίας που αφορούν την χρήση ενέργειας. Βασική επίτευξη από την χρήση του λογισμικού είναι η μεγιστοποίηση της

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

απόδοσης του συστήματος που θα συνοδεύεται με ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους άντλησης.

- **Προγραμματισμός ανανέωσης των σωλήνων**. Εύρεση και ιεράρχηση της αναγκαιότητας επιδιόρθωσης ή αντικατάστασης των αγωγών. Η ιεράρχηση πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψιν πολλές παραμέτρους και κριτήρια απόδοσης. Τα βασικά πλεονεκτήματα που μπορούν να ανακύψουν αφορούν την βελτιστοποίηση του προγραμματισμού, την αύξηση της δυνατότητας διανομής ύδατος και την μεγιστοποίηση της απόδοσης των επενδύσεων κεφαλαίων.
- **Προσομοίωση δικτύων σε πραγματικό χρόνο**. Διασύνδεση του μοντέλου υδραυλικής προσομοίωσης με το σύστημα SCADA, προκειμένου οι οριακές συνθήκες του μοντέλου που έχουν καθοριστεί σε πρώτο στάδιο, να ανανεώνονται με αυτόματο τρόπο, με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν κάθε χρονική στιγμή. Η αξιοποίησή τους δίνει την δυνατότητα στο χειριστή να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την πραγματική κατάσταση που βρίσκεται το δίκτυο και να διασφαλίζει την αποτελεσματική λειτουργία του.

Όλα τα παραπάνω αν και φαντάζουν πολύ μακρινά για τις περισσότερες εταιρείες διαχείρισης πόσιμου νερού στην Ελλάδα, είναι τα κανονικά επίπεδα γνώσης και λειτουργίας που θα μπορούσαν να επιτύχουν δομώντας ένα ψηφιακό δίδυμο του δικτύου τους και προσομοιώνοντάς το μέσω ενός σύγχρονου λογισμικού. Έγινε μια τόσο εκτενής αναφορά στα πλεονεκτήματα των ψηφιακών διδύμων γιατί τότε και μόνο τότε μπορεί ο μελετητής να παρέχει ασφαλή αποτελέσματα και να παίρνει σαφείς αποφάσεις τεκμηριωμένες αριθμητικά για κάθε κρίση. Η ανάκτηση ενέργειας και η εκτίμηση του δυναμικού της, καθώς και η υδραυλική προσομοίωση υδροτουρμπινών αντίστροφης λειτουργίας (PaTs pumps as turbines) απαιτούν γνώση και εφαρμογή όλων των παραπάνω ώστε να έχουμε καλή μελέτη και εφαρμογή.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.2. Προτεινόμενη διάταξη ανάκτησης ενέργειας μέσα από πειραματική ανάπτυξη

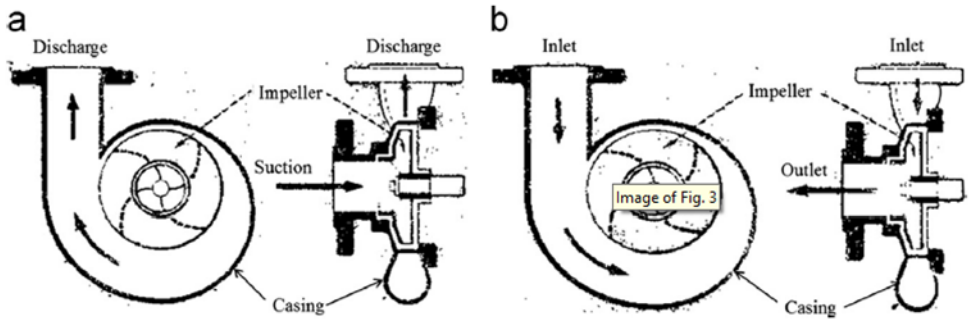
9.2.1. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση υδροτουρμπίνας (PAT)

Η υδροηλεκτρική ενέργεια ουσιαστικά εκμεταλλεύεται την μηχανική ενέργεια του νερού και την μετατρέπει σε ηλεκτρική. Μέσω της περιστροφής των τροχών με πτερύγια (υδροστρόβιλοι) η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική. Έπειτα μέσω της αξιοποίησης αυτής της περιστροφής παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελεί μία από τις βασικές πηγές ενέργειας στον Καναδά και την βόρεια Ευρώπη, ενώ υπολογίζεται ότι για το έτος 2016 η παραγωγή της ανήλθε σε ποσοστό 16% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα νέο πεδίο εφαρμογής των Πρακτικών Βέλτιστης Διαχείρισης Δικτύων Ύδρευσης. Προσδιορίζεται μια κατηγορία λειτουργικής προσέγγισης του ελέγχου των διαρροών που στοχεύει στην ανάκτηση της περίσσιας πίεσης μέσω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βαλβίδες μείωσης πίεσης (PRVs) δεν επιτυγχάνουν ανάκτηση ενέργειας, παρόλο που συμβάλλουν στη διαχείριση της πίεσης. Η αλλαγή ή παράλληλη χρήση τους με μικρό-υδροτουρμπίνες αποτελεί μια προσέγγιση που έχει ως στόχο τον έλεγχο της πίεσης, ενώ ταυτόχρονα θα ανακτάται ενέργεια.

9.2.2. Λειτουργία υδροτουρμπίνας (PAT)

Ο τρόπο λειτουργίας των υδροτουρμπίνων είναι παρόμοιος μ’ αυτό των αντλιών. Η μηχανική συσκευή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με των αντλίων, με την διαφορά ότι δεν καταναλώνεται ενέργεια για να δοθεί ώθηση στο νερό, αλλά χρησιμοποιείται η ροή του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 63 Φυγοκεντρική αντλία σε καθεστώς α. αντλίας και b. PAT

Δεν απαιτούνται σημαντικές τροποποιήσεις για να εγκατασταθούν και να ενσωματωθούν σ’ ένα δίκτυο. Ταυτόχρονα, για την υποστήριξη και διατήρηση της λειτουργίας τους δεν απαιτείται η ύπαρξη ειδικά καταρτισμένου προσωπικού ενώ τα εξαρτήματα των υδροτουρμπινών είναι ευρέως διαθέσιμα στην αγορά και το κόστος που απαιτείται για την αγορά και εγκατάσταση είναι παρόμοιο με τις συμβατικές αντλίες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Βασική παράμετρος αποτελεί η ύπαρξη πλεονάζουσας ενέργειας προς εκμετάλλευση. Μέχρι στιγμής, το μεγαλύτερο ποσοστό μικρό - υδροτουρμπίνων έχει τοποθετηθεί σε παροχευτικούς αγωγούς υψηλών διαμέτρων που η μεταφορά του νερού από τις υδροληψίες ξεκινά από μεγάλο υψόμετρο και διανύει σε πολλές περιπτώσεις αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Η παραγωγή της ενέργειας πραγματοποιείται σε διπλανά σημεία όπου πρέπει να καλυφθούν ενεργειακές ανάγκες, καθώς σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται η ύπαρξη δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Παρότι διερευνάται ακόμα η επίπτωση ορισμένων παραμέτρων στην λειτουργία και την βέλτιστη χρήση τους όπως, η θέση και ο αριθμός τους εντός του δικτύου, ο εξοπλισμός καθώς και οι καμπύλες λειτουργίας, οι δυνατότητες που παρουσιάζουν είναι σημαντικές.

9.2.3. Επιλογή βέλτιστης θέσης εγκατάστασης μικρό-υδροτουρμπίνας

Η εύρεσης της ακριβούς θέσης των PaTs και του αριθμού τους επηρεάζεται σημαντικά και από τη τοπολογία του δικτύου. Η διανομή της αποφόρτισης ανάμεσα σε κλάδους του δικτύου, όπως και η διαθέσιμη ισχύς επηρεάζονται από την εγκατάσταση μιας υδροτουρμπίνας σ’ ένα κλειστό βρόγχο του δικτύου. Επιπλέον, οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση της κίνησης και των απωλειών του νερού είναι μη-γραμμικές. Η επιλογή της θέσης αποτελεί πολύπλοκο ζήτημα, διότι εξαρτάται από παραμέτρους που μεταβάλλονται συνεχώς (αποφόρτιση, πίεση) και από παραμέτρους διακριτές (ύπαρξη μιας υδροτουρμπίνας σ’ έναν κλάδο). Ακόμη, το μέγεθος του δικτύου και ο τύπος υδραυλικής προσομοίωσης (σταθερής ή μεταβαλλόμενης), μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τον αριθμό των μεταβλητών.

Η ανάκτηση ενέργειας αποτελεί το μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης υδροτουρμπινών καθώς όμως ρυθμίζεται και η πίεση κατάντη του στοιχείου. Αυτή η τεχνική, έρχεται να λάβει υπόψη τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας καθώς και να ρυθμίσει την πίεση ανακτώντας ενέργεια. Οι θέσεις λοιπόν καθορίζονται και από πολλούς παράγοντες ενώ δεν παύουν να ισχύουν οι δεσμεύσεις μη αλλοίωσης της ποιότητας αλλά και τη διασφάλιση της συνεχούς ροής με επάρκεια πίεσης νερού για τους καταναλωτές. Οι βέλτιστες θέσεις των μίκρο - υδροτουρμπινών εξαρτώνται από τις ανάγκες που απαιτείται να καλύψουν.

9.2.4. Καμπύλες λειτουργίας μικρό-υδροτουρμπίνας

Βασική παράμετρος που δυσχεραίνει το έργο του μελετητή στην επιλογή της κατάλληλη καμπύλης λειτουργίας είναι το γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν παρέχονται από τους κατασκευαστές αντλιών οι καμπύλες απόδοσής τους όταν αυτές λειτουργούν αντίστροφα. Για αυτό, είναι μείζονος σημασίας η καθιέρωση μιας σχέσης η οποία θα δίνει την δυνατότητα μετάβασης από τα χαρακτηριστικά ‘’αντλίας’’ σε αυτά της ‘’τουρμπίνας’’. Τα χαρακτηριστικά και η απόδοση των υδροτουρμπινών μπορούν να υπολογισθούν (Carravetta κ.ά. 2012): 1) πειραματικά 2) μέσω υπολογιστικής ρευστομηχανικής 3) μέσω οποιασδήποτε μονοδιάστατης μεθόδου.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, παρότι έχει προταθεί ένας εύλογος αριθμός θεωρητικών και εμπειρικών σχέσεων για τη εύρεση του σημείου βέλτιστης απόδοσης «Best Efficiency Point-BEP» μιας υδροτουρμπίνας, δεν έχει καθιερωθεί μέχρι τώρα κάποια συγκεκριμένη διαδικασία υπολογισμού

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

της απόδοσης των υδροτουρμπίνων που να περικλείει ολόκληρο το εύρος λειτουργίας τους. Βέβαια, τις περισσότερες φορές απαιτείται για κάθε περίπτωση ξεχωριστά ο πειραματικός υπολογισμός. Παρόλο που στην βιβλιογραφία υπάρχουν διαθέσιμα μοντέλα πρόβλεψης, υπάρχει μεγάλο πεδίο διερεύνησης που αφορά τον καθορισμό των καμπυλών λειτουργίας μιας υδροτουρμπίνας, δεδομένου ότι έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστα εργαστηριακά πειράματα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα όπως επίσης και του ελάχιστου αριθμού παρεχόμενων πληροφοριών των κατασκευαστών. Γενικά, σε πραγματικές συνθήκες, οι καλύτερες προσεγγίσεις προέρχονται από πειραματικά δεδομένα μέσα από χρονοβόρα και ακριβά πειράματα. Για το λόγο αυτό στήθηκε και πειραματική διάταξη με διατομές αγωγών έως και 110 χιλιοστά ώστε να δοκιμαστεί και να μετρηθεί η διάταξη της PAT που κατασκευάστηκε για σκοπό αυτής της διατριβής.

9.2.5. Η αντλία PAT του πειράματος

Η αντλία PAT που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί μια απλή φυγοκεντρική αντλία κοινού τύπου. Τα βασικά χαρακτηριστικά της είναι: Μονοβάθμια, με ελαιοδοχείο για λίπανση των ρουλεμάν και σαλαμάστρα για στεγανοποίηση. Το στόμιο της αναρρόφησης έχει διάμετρο 3,5'' (Φ90) ενώ το στόμιο της κατάθλιψης έχει διάμετρο 3'' (Φ75). Μέγιστη παροχή τα 96 κυβικά/ώρα, μανομετρικό που φτάνει έως τα 70 μέτρα και ισχύς της αντλίας 15, 20, 25 και 30 HP στις 2900 στροφές/λεπτό. Η κίνηση πραγματοποιείται είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα και εσωτερικά έχουμε ορειχάλκινη φτερωτή διαμέτρου 15,9 εκατοστών και ο άξονας είναι ανοξείδωτος πάχους 19 χιλιοστών.

9.2.6. Εκτέλεση του πειράματος και αποτελέσματα

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε εντός ελεγχόμενου περιβάλλοντος στο χώρο του εργαστηρίου Υδρομηχανικής και Περιβαλλοντικής Τεχνικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Καθώς το πείραμα είχε στόχο να προσομοιώσει συνθήκες αντίστοιχες των δικτύων ύδρευσης, χρησιμοποιήθηκαν υλικά και μεγέθη που υπάρχουν και εντός ενός δικτύου ύδρευσης. Αν και εντός του εργαστηρίου υπάρχουν διαθέσιμα μέσα, οι διαθέσιμες αντλίες δεν επαρκούσαν για την επίτευξη πιέσεων και παροχών με ρεαλιστικές τιμές οπότε και το πείραμα υποστηρίχθηκε από την συμβολή του πυροσβεστικού σώματος. Ένα πυροσβεστικό όχημα με αντλία ονομαστική παροχής 90 κυβικών μέτρων νερού ανά ώρα σε πίεση έως και εννέα ατμοσφαιρών, ανέλαβε να παρέχει νερό στο πειραματικό σύστημα. Ως δίκτυο για την παροχή νερού, χρησιμοποιήθηκαν δύο αγωγοί διαφορετικών διαμέτρων. Στην πρώτη περίπτωση το υλικό του αγωγού ήταν PVC ονομαστικής πίεσης 10 atm και ονομαστικής διαμέτρου Φ110 (4''), ενώ στη δεύτερη περίπτωση το υλικό του αγωγού ήταν πάλι PVC ονομαστικής πίεσης όμως 16 atm και ονομαστικής διαμέτρου Φ63 (2.5''). Δυστυχώς τα διαθέσιμα μέσα δεν επέτρεπαν τη χρήση μεγαλύτερων διαμέτρων για δύο λόγους, πρώτον η αντλία ακόμα και του πυροσβεστικού σε μεγαλύτερο αγωγό θα έχανε μεγάλο μέρος της πίεσης της ενώ δεύτερον, η υδροτουρμπίνα που κατασκευάστηκε θα επέβαλε πολύ μεγάλες πτώσεις πίεσης καθώς η είσοδος και η έξοδός της θα είχαν πολύ μεγάλη διαφορά από τη διάμετρο του αγωγού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Η κατασκευή του δικτύου έγινε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το νερό να εισχωρεί στο στόμιο κατάθλιψης της αντλίας (της κανονικής της λειτουργίας) και να αποβάλλεται από το στόμιο αναρρόφησης. Δεδομένο της γεωμετρίας που είχε το κέλυφος στο εσωτερικό του στομίου κατάθλιψης το νερό μεταφέρεται προς την πτερωτή όπου την βρίσκει υπό μία ορισμένη γωνία και έπειτα με βάση τον σχεδιασμό και την γεωμετρία αυτής της πτερωτής, το νερό προσκρούει πάνω της κατακόρυφα και διαπερνάει στο εσωτερικό. Από την στιγμή που το νερό περνάει εντός της, χτυπάει στα πτερύγια που είναι μέσα, υπό ορισμένη κλίση και γωνία, και την ωθεί σε περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονά της. Συνεπώς, η περιστροφή της πτερωτής οδηγεί σε περιστροφή του άξονα. Επομένως, είναι προφανές όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη με την οποία το νερό χτυπάει την πτερωτή τόσο πιο γρήγορη είναι περιστροφή της, όπως επίσης και του άξονα.

Στον άξονα της αντλίας πραγματοποιήθηκε σύνδεση μιας τροχαλίας, που συνδέεται μέσω ενός ιμάντα μ’ ένα δυναμό αυτοκινήτου σταθερής τάσης με σκοπό να υπολογιστεί η ενέργεια που αποδίδεται στον άξονα της αντλίας. Το δυναμό γυρίζει παράλληλα με την περιστροφική κίνηση του άξονα της αντλίας. Το δυναμό αρχίζει και αποδίδει ρεύμα από τις 800 στροφές το λεπτό και πάνω. Με γνώμονα τον αριθμό των στροφών της αντλίας και του δυναμό αυτοκινήτου σταθερής τάσης πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της απόδοσης της υδροτουρμπίνας.

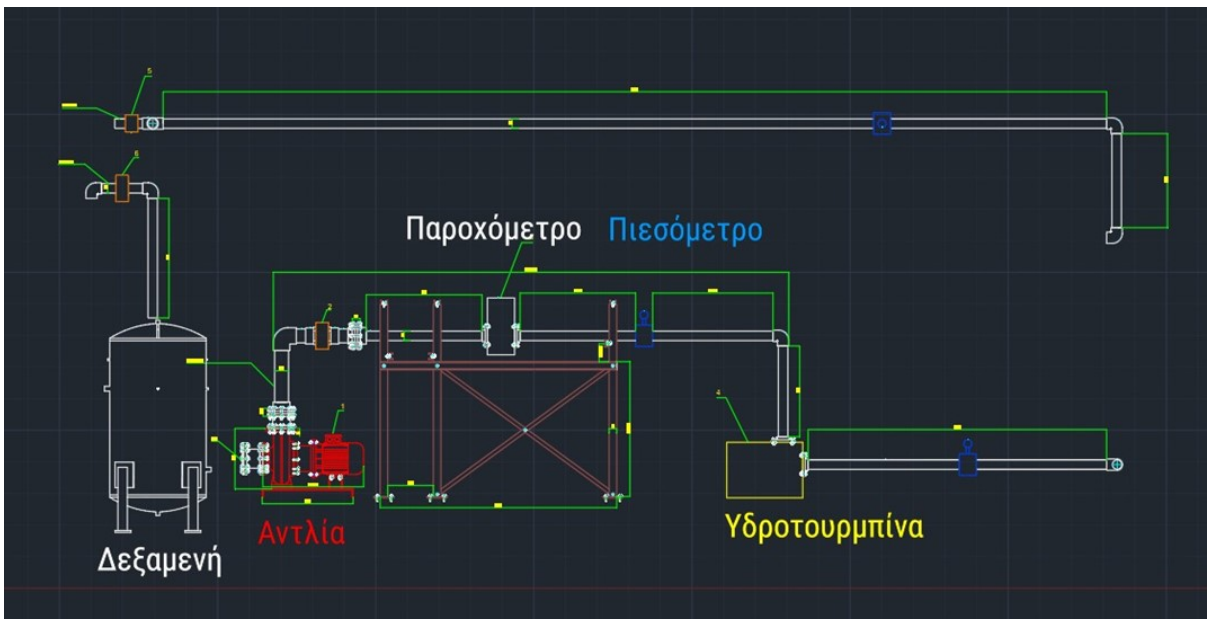
9.2.7. Δοκιμαστικός έλεγχος

Στον πρώτο δοκιμαστικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκαν αγωγοί ονομαστικής διαμέτρου Φ110 (4’’). Η αντλία του πυροσβεστικού οχήματος παρείχε νερό, το οποίο με τη σειρά του εισέρχεται στο δίκτυο. Σε πρώτη φάση, η αντλία δούλευε στις χαμηλότερες δυνατές στροφές που είναι δυνατόν να εκκινήσει η λειτουργία του κινητήρα. Στις χαμηλές στροφές της, συμπεριλαμβάνοντας και τις γραμμικές απώλειες μέχρι τη σύνδεση στο δίκτυο, η ένδειξη της πίεσης του μανόμετρου ανάντη της PAT, ήταν σχεδόν μισό μπαρ. Σε επόμενα στάδια δοκιμάστηκαν μεγαλύτερες πιέσεις, αφού προηγουμένως ρυθμίστηκε το δίκτυο κατάλληλα με την πλήρωση των αγωγών. Το σταδιακό κλείσιμο της βάνας στην απόληξη του δικτύου οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η ροή που εξέρχεται είναι στρωτή και οι αγωγοί πλέον είναι πλήρεις. Με το πλήρες άνοιγμα των βανών και την ταυτόχρονη αύξηση της παροχής στο δίκτυο μέσω της αντλίας του πυροσβεστικού, αυξήθηκε η ροή στον αγωγό χωρίς να εμφανιστούν στροβιλισμοί εντός αυτού. Προκειμένου να ολοκληρωθεί η δοκιμαστική λειτουργία πραγματοποιήθηκε εξαέρωση του δικτύου. Έγινε επιλογή του μανόμετρου ανάντη της PAT, το οποίο βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο. Κλείστηκε το βανάκι που έχει τοποθετηθεί και μεσολαβεί μεταξύ της σέλας στήριξης και του μανόμετρου. Αφού απομακρύνθηκε το μανόμετρο, ενώ το δίκτυο βρισκόταν εν λειτουργία ανοίχθηκε λίγο η βάνα και κλείστηκε γρήγορα, με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί ένας πίδακας νερού με το άνοιγμα της βάνας. Με τον συγκεκριμένο τρόπο πραγματοποιήθηκε ο εξαερισμός του δικτύου από τον αέρα που είχε παραμείνει εγκλωβισμένος εντός του.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 64 Πειραματική Διάταξη

Έπειτα πραγματοποιήθηκε η αποσύνδεση του συνδέσμου που είχε κατασκευαστεί για τη σύνδεση του λάστιχου από το πυροσβεστικό και συνδέθηκε στον αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ63 (2.5’’). Όπως και προηγούμενα έγινε ρύθμιση των εγκατεστημένων βανών και πραγματοποιήθηκε έλεγχος όλα τα παρελκόμενα εξαρτήματα έχουν σφίξει σωστά. Στην συνέχεια η αντλία PAT απεγκαταστάθηκε από το δίκτυο Φ110 (4’’) και τοποθετήθηκε στο δίκτυο Φ63. Το νερό ξεκίνησε να εισέρχεται στο δίκτυο και ενώ η αντλία δούλευε στις χαμηλότερες δυνατές στροφές και ακολούθησε η ίδια διαδικασία που παρουσιάστηκε για το δίκτυο Φ110 παραπάνω. Ύστερα πραγματοποιήθηκε η πλήρωση των αγωγών, με κατάλληλες ρυθμίσεις των βανών στο άνοιγμα τους κι τέλος έγινε ο εξαερισμός του δικτύου, όπως προηγουμένως. Τα αποτελέσματα ήταν παραπλήσια μ’ αυτά του δικτύου Φ110, δηλαδή παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά της πίεσης ανάντη και κατάντη της υδροτουρμπίνας. Στο παράρτημα της διατριβής έχουν επισυναφθεί εικόνες από τα βήματα του πειράματος που βοηθούν στην κατανόηση της διαδικασίας αλλά και των δυσκολιών της.



Εικόνα 65 Αναλυτική διαγραμματική περιγραφή πειράματος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.2.8. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η μόνη διαφορά που υπήρχε στις παραμέτρους των δύο δοκιμών ήταν η διαφορετική διάμετρος των αγωγών. Οι υπόλοιπες παράμετροι ήταν ίδιες. Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωτικά τα ευρήματα της πειραματικής διάταξης, μέσω πινάκων και διαγραμμάτων.

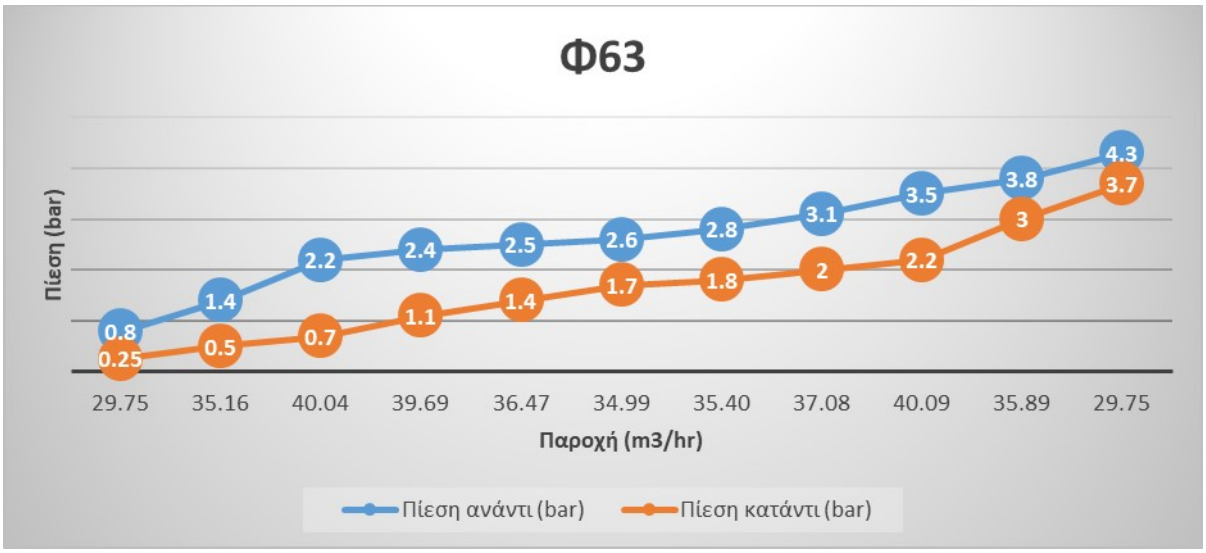
9.2.8.1 Σωλήνες ύδρευσης με διάμετρο Φ63 (4")

Στον Πίνακα 61 παρουσιάζονται τα οι μετρήσεις που καταγράφηκαν ύστερα από την διεξαγωγή του πειράματος. Στην πρώτη στήλη φαίνονται η πίεση και στη δεύτερη οι τιμές της παροχής του νερού που τροφοδοτεί το δίκτυο. Έπειτα, φαίνεται η πίεση ανάντη και κατάντη της PAT και οι στροφές της τροχαλίας και του δυναμό που αναπτύσσονται στις συγκεκριμένες συνθήκες.

Πίνακας 61 Αποτελέσματα των μετρήσεων για τους σωλήνες με διάμετρο Φ-63

Σωλήνες Φ63						
Πίεση (bar)	Παροχή (sec)	Παροχή (m^3/h)	Πίεση ανάντι (bar)	Πίεση κατάντι (bar)	Στροφές τροχαλίας (rpm)	Στροφές δυναμού (rpm)
1	12.1	29.75	0.8	0.25	1160	3877
2	10.24	35.16	1.4	0.5	1638	5450
3	8.99	40.04	2.2	0.7	2030	6723
3	9.07	39.69	2.4	1.1	1790	6300
3	9.87	36.47	2.5	1.4	1743	5800
3	10.29	34.99	2.6	1.7	1490	5320
3.5	10.17	35.40	2.8	1.8	1679	5580
4	9.71	37.08	3.1	2	1834	6100
4.5	8.98	40.09	3.5	2.2	1975	6550
4.5	10.03	35.89	3.8	3	1765	5530
4.5	12.1	29.75	4.3	3.7	1230	4130

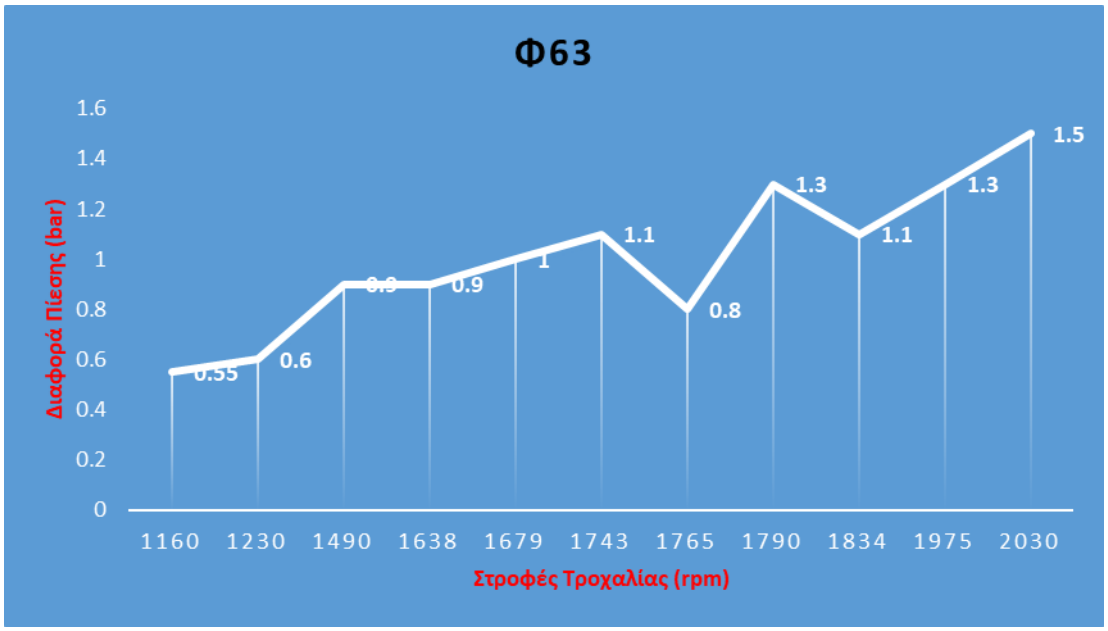
Στο γράφημα που ακολουθεί απεικονίζεται η πίεση ανάντη/κατάντη της PAT συναρτήσει της παροχής του δικτύου. Παρατηρείται ότι η πίεση ανάντη και κατάντη αυξάνεται συνεχώς όσο εξελίσσεται το πείραμα, με την απόκλιση των δύο τιμών να βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 0,55 και 1,5 bar. Η διαφορά στην πίεση διευρύνεται όσο αυξάνεται η παροχή (στην μέγιστη παροχή παρουσιάζεται η μέγιστη διαφορά πίεσης), στην συνέχεια σταθεροποιείται, ενώ στο τέλος της διαδικασίας που η παροχή είναι χαμηλή καταλήγει σε χαμηλότερες τιμές.



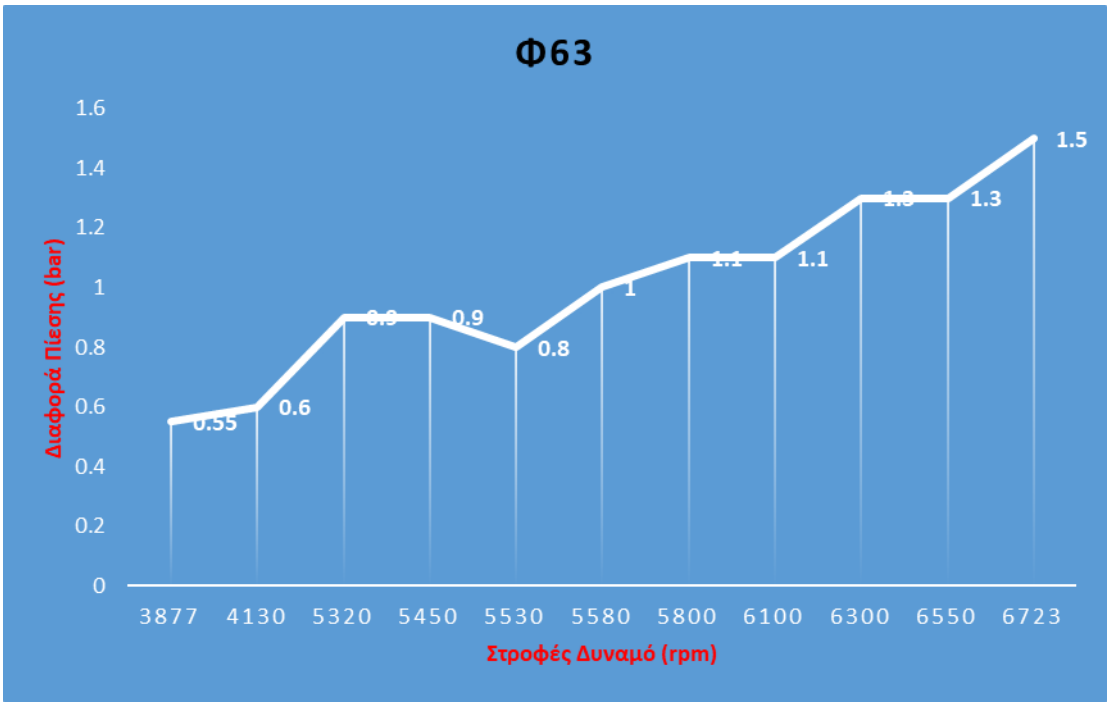
Γράφημα 128 Πίεσεις (ανάντη και κατάντη) της PAT και παροχή του δικτύου για τους σωλήνες Φ-63

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Έπειτα έγινε ταξινόμηση των τιμών της διαφοράς στην πίεση ανάτι/κατάντη της PAT και των στροφών της τροχαλίας και του δυναμικού προκειμένου να δημιουργηθούν τα διαγράμματα 129 και 130. Όπως φαίνεται, η απόκλιση στην πίεση είναι ανάλογη των στροφών της τροχαλίας και του δυναμικού.



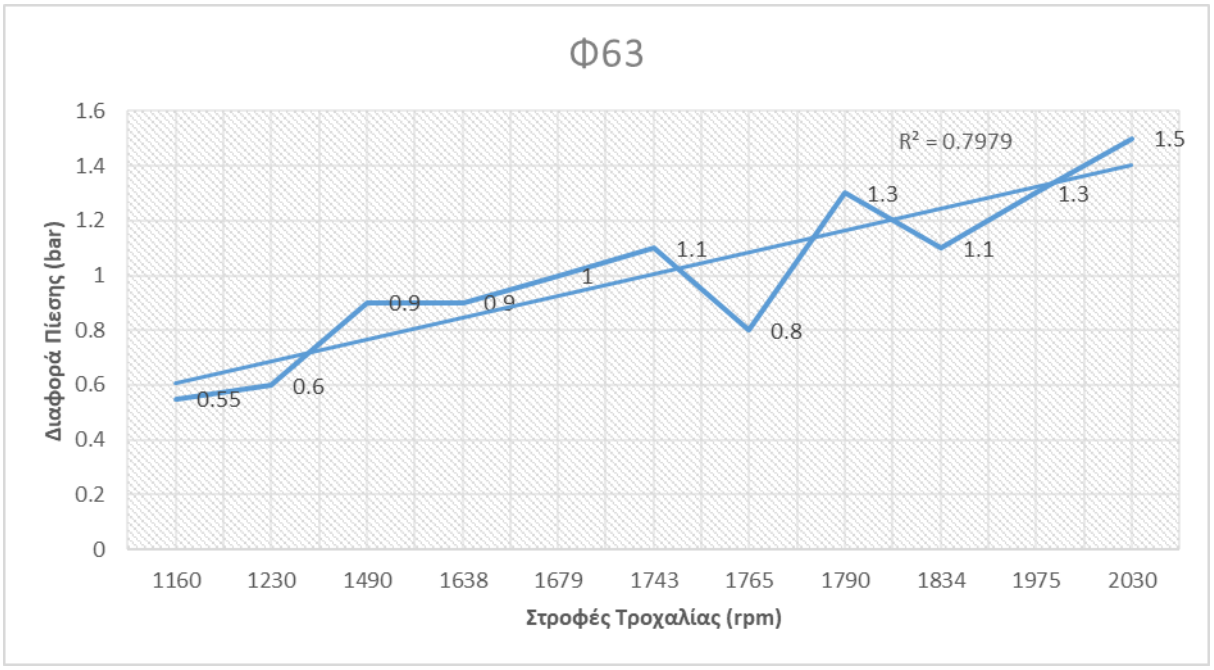
Γράφημα 129 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές της τροχαλίας για τους σωλήνες Φ-63



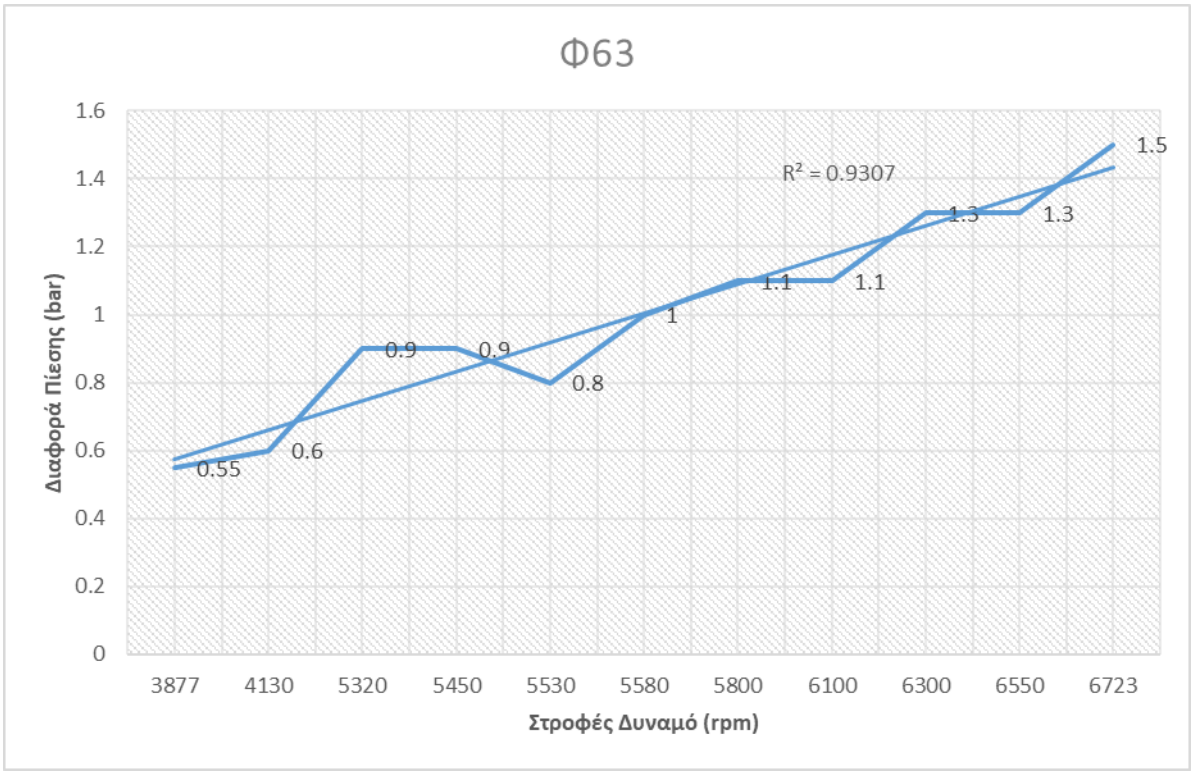
Γράφημα 130 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές του δυναμού για τους σωλήνες Φ-63

Παρατηρείται ότι αναδεικνύεται μια έντονη συσχέτιση και στα δύο διαγράμματα μεταξύ της γραμμής τάσης και των μετρούμενων τιμών, ιδίως όσον αφορά τις στροφές δυναμικού όπου ο συντελεστής συσχέτισής ισούται R^2=0.93 ενώ για τις στροφές τροχαλίας ισούται με R^2=0.80.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 131 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές της τροχαλίας για τους σωλήνες Φ-63



Γράφημα 132 Διαφορά πίεσεων(ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές του δυναμού για τους σωλήνες Φ-63

9.2.8.2 Σωλήνες ύδρευσης με διάμετρο Φ110 (4'')

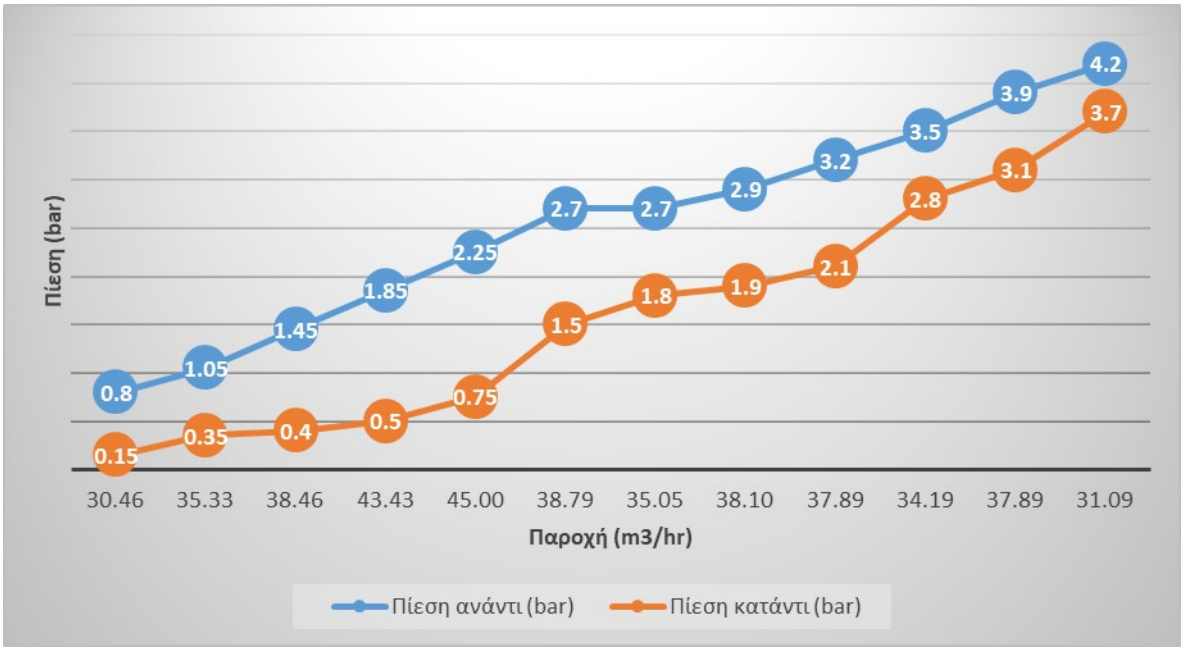
Στην συγκεκριμένη παράγραφο παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν για ονομαστική διάμετρο αγωγών Φ110 (Πίνακας 62). Στο γράφημα που ακολουθεί απεικονίζεται η πίεση ανάντη/κατάντη της PAT σε σχέση με την παροχή στο δίκτυο. Παρατηρείται ότι η πίεση ανάντη και κατάντη αυξάνεται συνεχώς όσο εξελίσσεται το πείραμα, με την απόκλιση των δύο τιμών να βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 0,5 και 1,5 bar. Η διαφορά στην πίεση διευρύνεται όσο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

αυξάνεται η παροχή (στην μέγιστη παροχή παρουσιάζεται η μέγιστη διαφορά πίεσης), στην συνέχεια σταθεροποιείται, ενώ στο τέλος της διαδικασίας που η παροχή είναι χαμηλή καταλήγει σε χαμηλότερες τιμές.

Πίνακας 62 Αποτελέσματα των μετρήσεων για σωλήνες με διάμετρο Φ-110

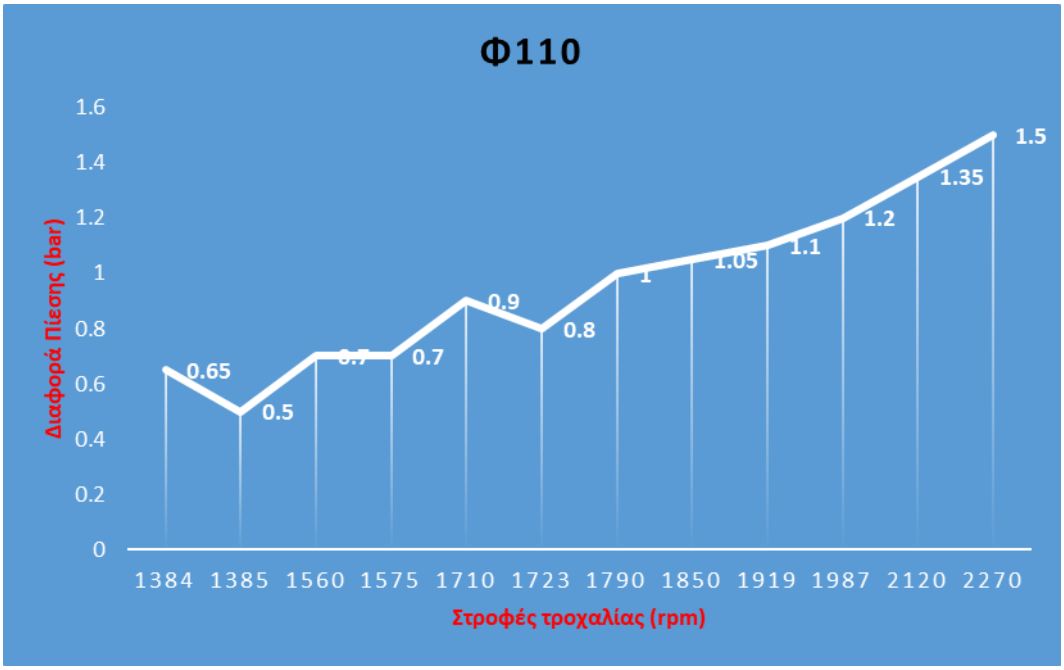
Φ110						
Πίεση (bar)	Παροχή (m^3/h)	Πίεση ανάντι (bar)	Πίεση κατάντι (bar)	Πίεση εκκένωσης (bar)	Στροφές τροχαλίας (rpm)	Στροφές δυναμού (rpm)
1	30.46	0.8	0.15	0	1384	4666
1.5	35.33	1.05	0.35	0	1575	5240
2	38.46	1.45	0.4	0.1	1850	6130
2.5	43.43	1.85	0.5	0.2	2120	7025
3	45.00	2.25	0.75	0.3	2270	7540
3	38.79	2.7	1.5	1.2	1987	6660
3	35.05	2.7	1.8	2	1710	5700
3.5	38.10	2.9	1.9	2	1790	5960
4	37.89	3.2	2.1	2.1	1919	6380
4	34.19	3.5	2.8	2.8	1560	4300
4.5	37.89	3.9	3.1	3	1723	5730
4.5	31.09	4.2	3.7	3.8	1385	5600



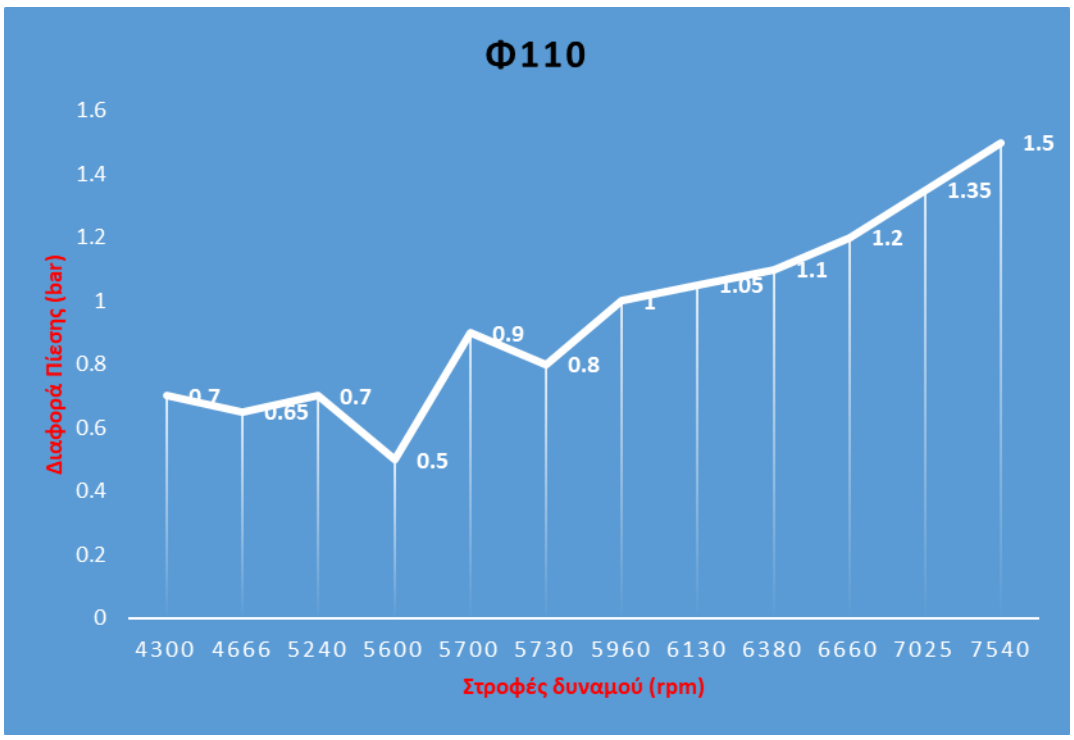
Γράφημα 133 Πίεσεις (ανάντη και κατάντη) της PAT και παροχή του δικτύου για σωλήνες Φ-110

Στην συνέχεια έγινε ταξινόμηση των τιμών της διαφοράς πίεσης ανάτι/κατάντη της PAT και των στροφών της τροχαλίας και του δυναμικού προκειμένου να δημιουργηθούν τα διαγράμματα 134 και 135.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



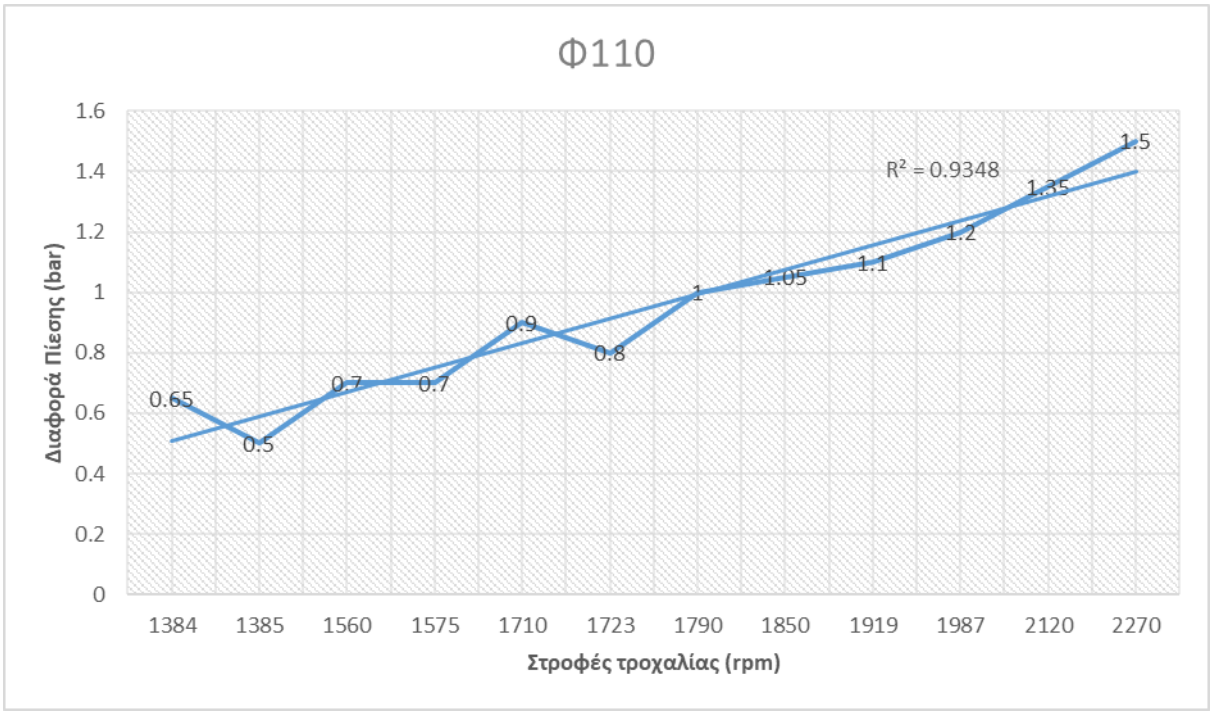
Γράφημα 134 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές της τροχαλίας για σωλήνες Φ-110



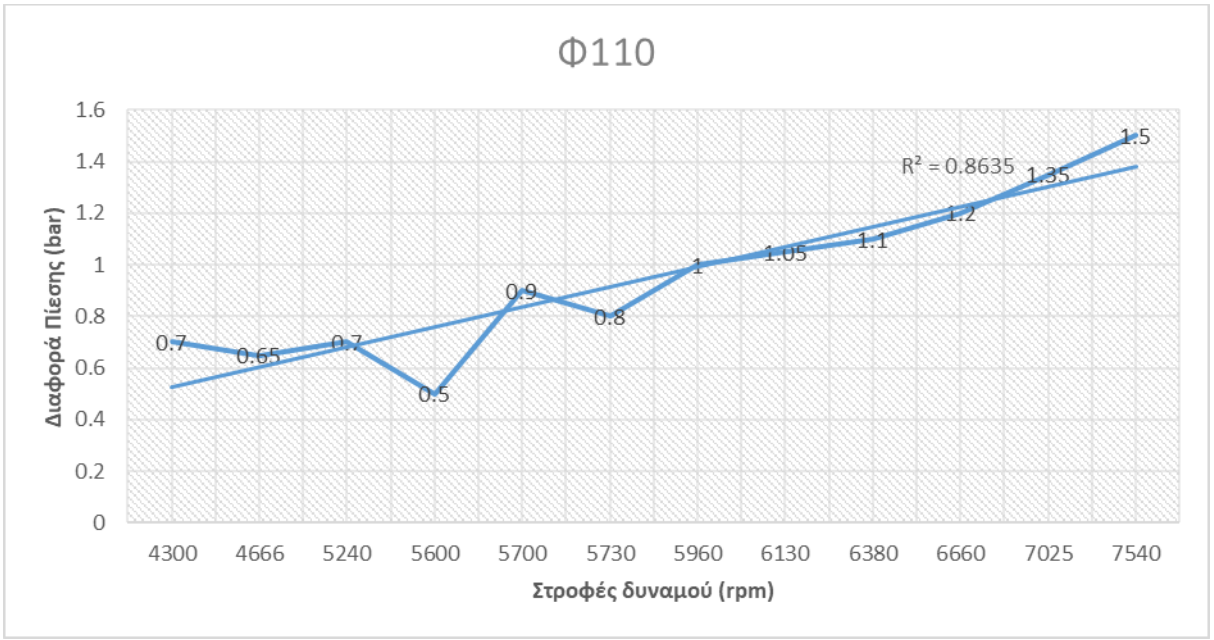
Γράφημα 135 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές του δυναμού για σωλήνες Φ-110

Παρατηρείται μια έντονη συσχέτιση και στα δύο διαγράμματα μεταξύ της γραμμής τάσης και των μετρούμενων τιμών, ιδίως όσον αφορά τις στροφές τροχαλίας όπου ο συντελεστής συσχέτισής ισούται R^2=0.93 ενώ για τις στροφές δυναμικού ισούται με R^2=0.87.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 136 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές της τροχαλίας για σωλήνες Φ-110



Γράφημα 137 Διαφορά πίεσεων (ανάτι και κατάντη) της PAT και στροφές του δυναμού για σωλήνες Φ-110

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.3. Υπολογισμός και Σχεδιασμός των Καμπυλών Λειτουργίας

Μέσω των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας μπορεί προσδιοριστεί η συμπεριφορά και η απόδοση των τουρμπινών, υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ροής και του μανομετρικού υψομέτρου στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας είναι:

Q_tb=N_t/N_p * Q_bp/(n_bp^0.8) (Εξίσωση 1)

H_tb=(N_t/N_p)2 * H_bp/(n_bp^1.2) n_tp=n_bp (Εξίσωση 2)

Όπου:

Q_tb=η ροή της τουρμπίνας στο καλύτερο σημείο απόδοσης
H_tb=το μανομετρικό ύψος της τουρμπίνας στο καλύτερο σημείο απόδοσης
Q_pb=η ροή της αντλίας στο καλύτερο σημείο απόδοσης
H_pb=το μανομετρικό ύψος της αντλίας στο καλύτερο σημείο απόδοσης
N_t=η ταχύτητα περιστροφής της τουρμπίνας
N_p=η ταχύτητα της αντλίας
n_bp= η απόδοση της αντλίας

Το βέλτιστο σημείο απόδοσης μιας αντλίας (BEP) υπολογίζεται μέσω των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας που προσδιορίζουν την εξάρτηση παροχής και μανομετρικού. Στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι διαθέσιμες από τους κατασκευαστές. Στη προκειμένη περίπτωση όμως, οι καμπύλες λειτουργίας δεν ήταν διαθέσιμες και έγινε η παραδοχή ότι το βέλτιστο σημείο απόδοσης της αντλίας είναι: Q_pb=0,75Q_max, H_pb=0,75H_max,

Στην συνέχεια για την κατασκευή των καμπυλών λειτουργίας χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις που ακολουθούν:

H_t/H_tb =1.0283 (Q_t/Q_tb)2- 0.5468 (Q_t/Q_tb) + 0.5314 (Εξίσωση 3)

P_t/P_tb =-0.3092 (Q_t/Q_tb)3 +2.1472 (Q_t/Q_tb)2 -0.8865 (Q_t/Q_tb) + 0.0452

(Εξίσωση 4)

Η ποσότητα της μηχανικής ενέργειας που είναι δυνατόν να παραχθεί από την τουρμπίνα (PAT), είναι ίση με:

P_tb=1000* H_tb * Q_tb * g *ρ * n_tp (Εξίσωση 5)

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s2)
ρ = η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m3)
n_tp= ο συντελεστής απόδοσης της τουρμπίνας

Οι καμπύλες λειτουργίας που δημιουργήθηκαν από τις παραπάνω συναρτήσεις, σε συνεργασία με τα αριθμητικά δεδομένα που προέκυψαν από το πείραμα, μας έδωσαν τα απαραίτητα στοιχεία για την μοντελοποίηση της υδροτουρμπίνας μέσα στο ψηφιακό δίδυμο. Πρέπει να αναφέρουμε πως τα διαθέσιμα λογισμικά υδραυλικής προσομοίωσης έχουν τη δυνατότητα να προσομοιώνουν τουρμπίνες όπως είναι από τη μία πλευρά ο δικός μας μηχανισμός δέσμευσης κινητικής ενέργειας από το νερό, όμως δεν έχουν θεσμοθετήσει ακριβώς την λειτουργία μιας PAT. Για να είμαστε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

λοιπόν ακριβείς και να καταστήσουμε εφικτό να εισάγουμε μία PAT στο μοντέλο μας, ξεχωρίσαμε στην προσομοίωση το κομμάτι της υδραυλικής της τουρμπίνας από το ηλεκτροπαραγωγικό κομμάτι που στην περίπτωση εξοπλισμού μας ήταν πολύ εύκολο. Εύκολο δηλώνεται καθώς ο μηχανολογικός εξοπλισμός όπως έχει στηθεί αν και δεν είναι ο πιο αποδοτικά βελτιστοποιημένος για να δίνει τη μεγαλύτερη ισχύ που μπορεί, έχει όμως σταθερή ηλεκτροπαραγωγή καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του ανεξάρτητα από την παροχή του νερού και την ασκούμενη πίεση που υπάρχει στον αγωγό. Αυτό είναι τεράστιο πλεονέκτημα και υδραυλικά αφού δεν απαιτεί συγκεκριμένες θέσεις μόνο για τοποθέτηση αλλά και παραγωγικά λειτουργεί ολόκληρο το εικοσιτετράωρο για όλες τις μέρες του χρόνου και προς τις δύο κατευθύνσεις αν τύχει να έχουμε ανάστροφη ροή. Καινοτομία που όμως απαιτεί λίγο ακόμα πιο ποιοτικό σχεδιασμό και ίσως αποτελέσει μία ακόμα διδακτορική διατριβή με έμφαση στον τομέα της μηχανολογίας και της υδραυλικής.

Με τη δυνατότητα πλέον της εισαγωγής μιας υδροτουρμπίνας σε μοντελοποιημένο δίκτυο είναι εφικτή η εκτίμηση μίας τέτοια επένδυσης, η εκμετάλλευση της περίσσειας ενέργειας αλλά και η εξασφάλιση παραγόμενης ενέργειας κοντά σε καταναλώσεις.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.4. Η εκτίμηση ενεργειακού δυναμικού του εξωτερικού υδραγωγείου της Κοζάνης

9.4.1. Ανάδειξη και Επιλογή Πιθανών Σημείων Εγκατάστασης Υδροτουρμπινών στο Δίκτυο

Κατά τη μελέτη και την αναζήτηση πιθανών θέσεων των PAT έχουμε να διακρίνουμε τα δίκτυο σε δύο βασικές κατηγορίες. Το δίκτυο μεταφοράς ή αλλιώς εξωτερικό υδραγωγείο και το δίκτυο διανομής ή αλλιώς εσωτερικό δίκτυο όπου λόγω των διαφορών τους, διαφέρει και πολύ η λογική επιλογής θέσεων των PAT. Τα εξωτερικά δίκτυα έχουν συνήθως μεγαλύτερες διαμέτρους αγωγών με ροές που είναι έντονες ή διακόπτονται μέσα στη μέρα. (όταν γεμίζουν οι δεξαμενές) οι πιο προφανείς θέσεις μιας PAT είναι οι θέσεις πιεζόθραυσης καθώς εκεί έχουμε καταστροφή ενέργειας η οποία πάει χαμένη. Αντί για δεξαμενές ηρεμίας θα μπορούσε ο αγωγός να έχει αρκετές εγκατεστημένες υδροτουρμπίνες κατά μήκος του που θα του ελέγξουν και τη ροή, την πίεση αλλά θα ανακτήσουν συνάμα την ενέργεια. Στο εσωτερικό υδραγωγείο αντιθέτως οι πολύ μεγάλοι αγωγοί έχουν πολύ μεγάλες επιπτώσεις στις κατάντη λειτουργίες του δικτύου και θέλουν προσοχή κατά την τοποθέτηση μιας PAT. Οι μικροί αγωγοί συνήθως δεν έχουν επάρκεια περίσσειας ενέργειας ενώ οι μεσαίες περιπτώσεις που έχουν ενεργειακό ενδιαφέρον έχουν διασπορά μέσα στο χώρο και μεγάλη διακύμανση των στοιχείων ροής μέσα στη μέρα.

Αρχικά μελετήθηκε το δίκτυο για τα τέσσερα διαφορετικά τρίμηνα, με βάση ότι οι παρεχόμενες ποσότητες νερού των πηγών και των γεωτρήσεων ανά μήνα δεν παρουσιάζουν κανονική κατανομή σε ετήσιο επίπεδο. Η διαμόρφωση των τριμήνων έγινε ως εξής:

- Α’ Τρίμηνο που περιλαμβάνει τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο
- Β’ Τρίμηνο που περιλαμβάνει τους μήνες Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο
- Γ’ Τρίμηνο που περιλαμβάνει τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο
- Δ’ Τρίμηνο που περιλαμβάνει τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο

Από την τη Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης δόθηκαν δεδομένα σχετικά με την μηνιαία παροχή των πηγών του έτους 2011 και την συνολική ετήσια παροχή τους για το έτος 2014. Στην μελέτη λήφθηκαν υπόψιν και αναλύθηκαν τα δεδομένα του υδρολογικού έτους 2014.

Με απώτερο στόχο η ανάλυση να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής προτιμήθηκε οι συνολικές απολήψιμες ποσότητες του 2014 να αναχθούν σε μηνιαίες. Σε πρώτη φάση έγινε χρήση κανονικής κατανομής, ωστόσο δεν ήταν απόλυτα σωστό, δεδομένου ότι συνεισφορά των πηγών και των γεωτρήσεων διαφοροποιείται ανά μήνα. Συγκεκριμένα το δίκτυο τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο τροφοδοτείται κυρίως από πηγαία νερά, δεδομένου ότι στα βουνά έχουν αποθηκευτεί σημαντικές ποσότητες χιονιού από τον χειμώνα και οι οποίες λιώνουν. Αντιθέτως, το δίκτυο τον υπόλοιπο καιρό τροφοδοτείται κυρίως από νερά γεωτρήσεων, η πλειοψηφία των οποίων εντοπίζεται στο Βαθύλακο, δίπλα στην τεχνητή λίμνη του Πολυφύτου του ποταμού Αλιάκμονα.

Με βάση τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η κατανομή για το έτος 2011 του άνω και του κάτω τμήματος και υπολογίστηκε για κάθε μήνα το ποσοστό του νερού που προέρχεται από τις πηγές της Ερμακιάς, της Γκιώνας και της Ακρινής καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό που προέρχεται από

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

τις γεωτρήσεις του Βαθυλάκου και των πηγών της Οινόης και της Πτελέας. Τα εν λόγω ποσοστά παραθέτονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 63 Κατανομή των νερών σε ετήσια βάση(2011).

Ετήσια Κατανομή των Νερών του έτους 2011					
		ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ		ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ	
Α/Α	ΜΗΝΑΣ	ΕΡΜΑΚΙΑ (m³)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ	ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ (m³)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
1	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	329.535,50	11,27	246.565,47	5,47
2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	279.331,51	9,55	254.295,52	5,64
3	ΜΑΡΤΙΟΣ	512.983,45	17,54	100.954,50	2,24
4	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	443.063,47	15,15	158.909,61	3,52
5	ΜΑΪΟΣ	500.123,54	17,10	145.458,22	3,23
6	ΙΟΥΝΙΟΣ	387.422,52	13,25	252.922,79	5,61
7	ΙΟΥΛΙΟΣ	175.492,44	6,00	529.574,63	11,74
8	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	105.472,69	3,61	544.299,73	12,07
9	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	74.477,28	2,55	561.425,00	12,45
10	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	51.302,40	1,75	563.284,31	12,49
11	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	31.689,40	1,08	555.197,66	12,31
12	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	33.383,97	1,14	596.676,06	13,23
	ΣΥΝΟΛΟ	2.924.278,19	100,00	4.509.563,51	100,00

Έπειτα διερευνήθηκε ο τρόπος που γίνεται η κατανομή του νερού στα 2 τμήματα του εξωτερικού δικτύου. Προσδιορίσθηκε, το ποσοστό που συνεισφέρει η κάθε υδροληψία ως εξής: Για το άνω τμήμα το ποσοστό του νερό της Ακρινής και το αντίστοιχο ποσοστό της ομάδας των πηγών της Ερμακιάς και της Γκιώνας και για το κάτω τμήμα το ποσοστό του νερού που προέρχεται από την ομάδα των πηγών της Οινόης και της Πτελέας και το αντίστοιχο ποσοστό που προέρχεται από τις γεωτρήσεις του Βαθύλακου.

Πίνακας 64 Ποσοστό συμμετοχής κάθε υδατικής πηγής στο δίκτυο (2014).

	Έτος 2014			ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΘΕ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ (%)
	ΜΗΝΙΑΙΑ (m³)	ΕΤΗΣΙΑ (m³)		
ΑΚΡΙΝΗ	14.650,00	175.800,00	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΩ ΜΕΡΟΣ	4,59
ΕΡΜΑΚΙΑΣ-ΓΚΙΩΝΑΣ	304.750,00	3.657.000,00	3.832.800,00	95,41
ΟΙΝΟΗΣ-ΠΤΕΛΕΑΣ	1.933,33	23.200,00	ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ	0,52
ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ	372.333,33	4.468.000,00	4.491.200,00	99,48
	ΣΥΝΟΛΟ	**8.324.000,00**		

Στην συνέχεια, με βάση τα ποσοστά του Πίνακα 63 και την συνολική ποσότητα νερού κάθε τμήματος του εξωτερικού υδραγωγείου του Πίνακα 64, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες παροχές στα τμημάτων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 65 Κατανομή των νερών του δικτύου σε μηναία βάση ανά τμήμα (2014)

Μηνιαία κατανομή των νερών των τμημάτων του δικτύου για το έτος 2014				
			ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ	ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ
Α/Α	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΕΣ	ΕΡΜΑΚΙΑ (m^3)	ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ (m^3)
1	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	431.916,39	245.561,43
2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	366.114,90	253.260,00
3	ΜΑΡΤΙΟΣ	31	672.358,39	100.543,40
4	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	580.715,50	158.262,51
5	ΜΑΪΟΣ	31	655.503,12	144.865,90
6	ΙΟΥΝΙΟΣ	30	507.787,89	251.892,86
7	ΙΟΥΛΙΟΣ	31	230.014,86	527.418,14
8	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	138.241,20	542.083,27
9	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	97.616,06	559.138,81
10	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	67.241,16	560.990,54
11	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	41.534,74	552.936,82
12	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	43.755,79	594.246,32
	ΣΥΝΟΛΟ	365	3.832.800,00	4.491.200,00

Τέλος, υπολογίστηκαν η μηνιαία ποσότητα κάθε υδατικού πόρου του εξωτερικού υδραγωγείου, με βάση τους πίνακες 63, 64 και 65 και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 66 Κατανομή συμμετοχής των πηγών και των γεωτρήσεων του δικτύου ανά μήνα (2014)

		ΑΝΟΙΓΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2014 (m^3)			
Α/Α	**ΜΗΝΑΣ**	**ΑΚΡΙΝΗ**	**ΕΡΜΑΚΙΑ-ΓΚΙΩΝΑ**	**ΟΙΝΟΗ-ΠΤΕΛΕΑ**	**ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ**
1	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	19.810,82	412.105,57	1.268,49	244.292,94
2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	16.792,68	349.322,22	1.308,25	251.951,74
3	ΜΑΡΤΙΟΣ	30.839,23	641.519,16	519,37	100.024,03
4	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	26.635,82	554.079,68	817,53	157.444,98
5	ΜΑΪΟΣ	30.066,13	625.437,00	748,33	144.117,57
6	ΙΟΥΝΙΟΣ	23.290,83	484.497,05	1.301,19	250.591,67
7	ΙΟΥΛΙΟΣ	10.550,15	219.464,71	2.724,46	524.693,68
8	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6.340,74	131.900,46	2.800,22	539.283,06
9	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4.477,38	93.138,68	2.888,32	556.250,49
10	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	3.084,17	64.156,99	2.897,88	558.092,66
11	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1.905,08	39.629,66	2.856,28	550.080,54
12	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	2.006,96	41.748,83	3.069,67	591.176,65
ΣΥΝΟΛΟ		175.800,00	3.657.000,00	23.200,00	4.468.000,00

Προκειμένου η προσομοίωση του δικτύου να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική έγινε εισαγωγή της ζήτησης και της κατανάλωσης των οικισμών όπως επίσης και των δραστηριοτήτων των βιοτεχνιών και των βιομηχανιών που δραστηριοποιούνται πέριξ της πόλης της Κοζάνης.

Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και παραχωρήθηκαν από την ΔΕΥΑ δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας των συνολικών ετήσιων καταναλισκόμενων ποσοτήτων νερού για το έτος 2014.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 67 Καταγραφή της ζήτησης (2014).

ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΟ ΚΑΤΑ ΤΟ 2014 (m^3)	
ΑΚΡΙΝΗ	308.800,00
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	266.000,00
ΡΥΑΚΙΟ	87.800,00
ΚΟΙΛΑΔΑ	86.500,00
ΟΙΝΟΗ	73.200,00
ΠΤΕΛΕΑ	25.100,00
ΠΕΤΡΑΝΑ	98.600,00
ΚΟΖΑΝΗ	5.636.400,00
Ν. ΧΑΡΑΥΓΗ	248.700,00
ΜΕΛΙΣΣΙΑ	9.498,00
ΚΟΙΛΑ	591.200,00
Ν. ΝΙΚΟΠΟΛΗ	21.100,00
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	160.000,00
ΣΥΝΟΛΟ	7.612.898,00

Στην συνέχεια, τα ετήσια δεδομένα ανήχθησαν σε ημερήσια (πίνακας 68).

Πίνακας 68 Ημερήσια καταγραφή της ζήτησης (2014)

ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΟ ΓΙΑ ΤΟ 2014 (m^3/day)	
ΑΚΡΙΝΗ	846,03
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	728,77
ΡΥΑΚΙΟ	240,55
ΚΟΙΛΑΔΑ	236,99
ΟΙΝΟΗ	200,55
ΠΤΕΛΕΑ	68,77
ΠΕΤΡΑΝΑ	270,14
ΚΟΖΑΝΗ	15.442,19
Ν. ΧΑΡΑΥΓΗ	681,37
ΜΕΛΙΣΣΙΑ	26,02
ΚΟΙΛΑ	1.619,73
Ν. ΝΙΚΟΠΟΛΗ	57,81
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	438,36
ΣΥΝΟΛΟ	20.857,28

Καθώς το δίκτυο διερευνάται ξεχωριστά για κάθε τμήμα, προέκυψε το ερώτημα σε ποιο από τα δύο τμήματα θα πρέπει συμπεριληφθεί η πόλη της Κοζάνης. Δεδομένου ότι η Κοζάνη υδροδοτείται εξίσου από τις γεωτρήσεις του Βαθυλάκου και τις πηγές της Ακρινής, της Ερμακιάς και της Γκιώνας θεωρήθηκε ορθότερο να συμπεριληφθεί και στα δύο μοντέλα. Το μόνο διαθέσιμο στοιχείο όμως ήταν η μέση ημερήσια ζήτηση στην πόλη. Επομένως αποφασίστηκε να υπολογιστεί η απολήψιμη ποσότητα νερού σε κάθε τμήμα και για κάθε τρίμηνο ξεχωριστά και με βάση το ποσοστό συμμετοχής τους να κατανεμηθεί ανάλογα η ζήτηση ανά τρίμηνο και ανά τμήμα.

Η παραπάνω διαδικασία εξαγωγής των συντελεστών βαρύτητας και κατανομής της ζήτησης οπτικοποιείται μέσω των πινάκων 69, 70 και 71 που ακολουθούν.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 69 Ημερήσια καταγραφή της ζήτησης (2014)

	ΑΠΟΛΕΙΨΙΜΟ ΝΕΡΟ ΑΝΩ ΜΕΡΟΥΣ (m^3/d)	ΑΠΟΛΕΙΨΙΜΟ ΝΕΡΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΥΣ (m^3/d)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΠΟΛΕΙΨΙΜΟ ΝΕΡΟ (m^3/d)
Α ΤΡΙΜΗΝΟ	48.697,30	20.209,67	68.906,97
Β ΤΡΙΜΗΝΟ	57.428,71	18.344,94	75.773,65
Γ ΤΡΙΜΗΝΟ	15.133,10	53.138,01	68.271,10
Δ ΤΡΙΜΗΝΟ	4.965,04	55.696,93	60.661,97

Πίνακας 70 Ποσοστά συμμετοχής ανά τμήμα (2014).

	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΑΝΩ ΜΕΡΟΥΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΥΣ
Α ΤΡΙΜΗΝΟ	70,67	29,33
Β ΤΡΙΜΗΝΟ	75,79	24,21
Γ ΤΡΙΜΗΝΟ	22,17	77,83
Δ ΤΡΙΜΗΝΟ	8,18	91,82

Πίνακας 71 Απολήψιμο νερό κάθε τμήματος για το 2014.

	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΟΖΑΝΗΣ ΑΝΩ ΜΕΡΟΣ (m^3/d)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΟΖΑΝΗΣ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ (m^3/d)
Α ΤΡΙΜΗΝΟ	10.913,16	4.529,03
Β ΤΡΙΜΗΝΟ	11.703,61	3.738,58
Γ ΤΡΙΜΗΝΟ	3.422,94	12.019,25
Δ ΤΡΙΜΗΝΟ	1.263,91	14.178,28

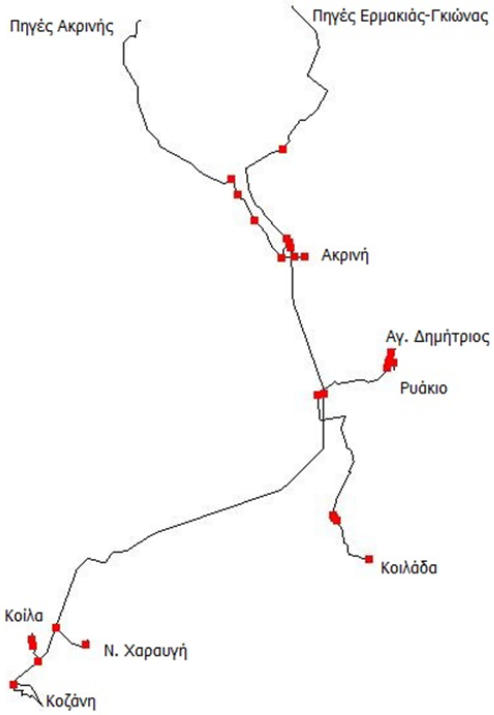
Τα απαραίτητα τρεξίματα των μοντέλων που έγιναν κατέδειξαν την λειτουργικότητά τους και ότι ο σχεδιασμός τους ήταν ορθός. Η σωστή επιλογή υδροτουρμπίνας απαιτεί την γνώση δύο παραμέτρων. Η πρώτη παράμετρος είναι το μανομετρικό ύψος του σημείου που θα τοποθετηθεί και η δεύτερη παράμετρος είναι η παροχή (flow) που αναπτύσσεται στον αγωγό που καταλήγει σ' αυτήν. Μία σχετικά μικρή αστάθεια παρατηρήθηκε κατά την εξέταση του σύνολου των κόμβων του δικτύου τόσο όσον αφορά το μανομετρικό ύψος όσο και την παροχή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός εξετάσθηκαν οι τιμές μόνο του πρώτου 24ώρου, όπου το μοντέλο δεν έχει προλάβει να έρθει σε ισορροπία, όπως είναι απόλυτα λογικό, δεδομένου ότι οι δεξαμενές εκκινούν σε μικρότερο ύψος μανομετρικού σε σχέση με τα 24ωρα που ακολουθούν. Αυτό το γεγονός οδήγησε στην αύξηση της χρονικής περιόδου προσομοίωσης από 24 ώρες σε 48. Επομένως στις ρυθμίσεις του προγράμματος (calculation options) επιλέχθηκε ως τύπος χρονικής ανάλυσης, η ανάλυση εκτεταμένης χρονικής περιόδου και πραγματοποιήθηκε η επίλυση του μοντέλου. Επίσης τονίζεται ότι η εξαγωγή αποτελεσμάτων ορίστηκε να γίνεται ανά μίση ώρα και όχι κάθε στιγμή που πραγματοποιείται η παραμικρή αλλαγή στο δίκτυο. (π.χ. πτώση στάθμης μιας δεξαμενής κατά 30 cm.)

Οι συγκεκριμένες αλλαγές οδήγησαν στην επίτευξη ισορροπίας στο δίκτυο κατά το δεύτερο 24ωρο. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν αρχεία υπολογιστικών φύλλων excel για κάθε τετράμηνο ξεχωριστά. Κάθε αρχείο περιλαμβάνει 2 καρτέλες, με την πρώτη να αναφέρεται στο άνω τμήμα του εξωτερικού υδραγωγείου και την δεύτερη στο κάτω.

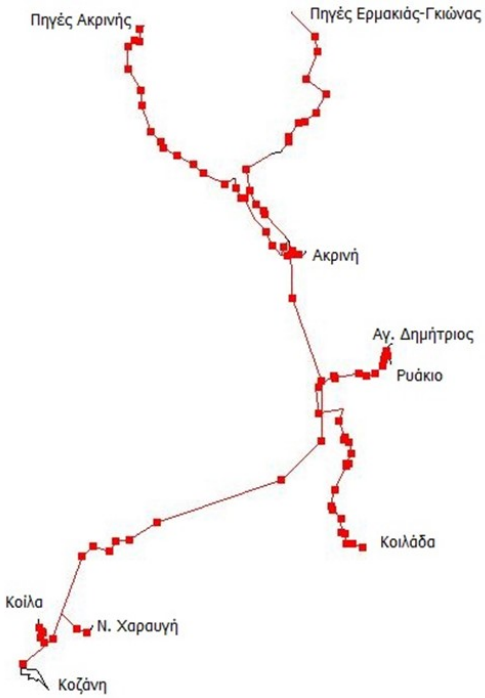
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.4.2. Άνω Τμήμα

Σε πρώτη φάση, δεν υπήρχαν συγκεκριμένα κριτήρια επιλογής των πιθανών σημείων τοποθέτησης υδροτουρμπινών στο εν λόγω δίκτυο. Τα σημεία που επιλέχθηκαν, όπως επίσης και οι γειτνιάζοντες αγωγοί ήταν ίδια σε κάθε τρίμηνο. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται στις εικόνες που ακολουθούν είναι χρωματισμένα με κόκκινο.



Εικόνα 66 Εξεταζόμενοι κόμβοι για το άνω τμήμα.



Εικόνα 67 Εξεταζόμενοι αγωγοί για το άνω τμήμα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Σε δεύτερη φάση, έπρεπε να αποφασιστεί ποια απ' αυτά τα σημεία του δικτύου θα μπορούσαν να αποτελέσουν πιθανές θέσεις εγκατάστασης. Κριτήριο επιλογής αποτελεί το υψόμετρο του εξεταζόμενου κόμβου να είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με τον επόμενο κόμβο, λαμβάνοντας υπόψη φυσικά τη φορά της ροής στο δίκτυο. Δηλαδή, ο αγωγός που παρεμβάλλεται ανάμεσα στους 2 κόμβους πρέπει να εμφανίζει αρνητική κλίση (κατωφέρεια).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποκλείσθηκαν οι κόμβοι J: 47, 64, 56, 58, 117, 135, 141, 146, 171, 173, 174, 178, 186 και οι κόμβοι σημείο bypass #1, φρεάτιο διακλάδωσης (Αγιάς Παρασκευής και Μαντζής - Ράχης).

Οι εναπομείναντες κόμβοι είναι οι κόμβοι J: 60, 61, 62, 63, 145, 149, 176, 177, 188, 189, 190, πιεζοθραυστικό φρεάτιο Ακρινής, πιεζοθραυστικό φρεάτιο Ερμακιάς – Γκιώνας, πιεζοθραυστικό φρεάτιο Ακρινής #2 και σημείο bypass #2.

Επομένως, θεωρείται δεδομένη η προσθήκη υδροτουρμπινών εντός των τριών πιεζοθραυστικών φρεατίων.

9.4.2.1 Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος για κάθε θέση

Για τους υπόλοιπους δώδεκα εξεταζόμενους κόμβους απαιτείται ο υπολογισμός της θεωρητικά ελάχιστης υδραυλικής ισχύος που μπορεί να αναπτυχθεί στις συγκεκριμένες θέσεις. Ένας σημαντικός αριθμός επιστημονικών άρθρων (όπως αυτά του B. A. Nasir 2013 [1] και του O. Paish 2002 [2]) όπως επίσης και κάποιοι κατασκευαστές (ACTEC) [3] έχουν υποστηρίξει ότι η υδραυλική ισχύς που υπάρχει κρυμμένη εντός ενός αγωγού είναι δυνατόν υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης (1). Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την τιμή της είναι κυρίως η παροχή του αγωγού και η τιμή του μανομετρικού ύψους στο συγκεκριμένο σημείο και δευτερευόντως η αποδοτικότητα της υδροτουρμπίνας καθ' αυτής.

$$Pel = \Delta h \cdot Q \cdot g \cdot \rho \cdot nturb. \cdot ngen. \ (Watt) \quad (1)$$

$$Pel = (m) \cdot (m^3/s) \cdot (m/s^2) \cdot (kg/m^3) = (kg \cdot m^2) / (s^3) = Joule/sec = Watt$$

Όπου:

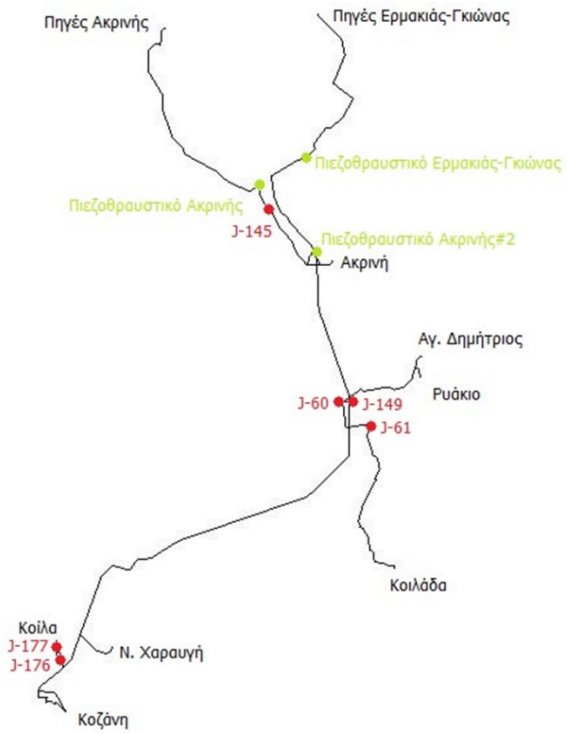
Pel: η πιθανή υδραυλική ισχύς που μπορεί να εμφανισθεί κατά τη λειτουργία υδροτουρμπίνας.
Q: η παροχή που έχει ο αγωγός που καταλήγει στο σημείο μελέτης (m^3/s)
g: η επιτάχυνση της βαρύτητας ($g=9,81\ m/s^2$)
ρ: η πυκνότητα του νερού ($\rho=1.000\ kg/m^3$)
nturb.: ο συντελεστής απόδοσης της τουρμπίνας (συνήθεις τιμές 0,80 – 0,90)
ngen.: ο συντελεστής απόδοσης της γεννήτριας (συνήθεις τιμές 0,80 – 0,90)

Βασική παραδοχή αποτελεί ότι η τουρμπίνα έχει συντελεστή απόδοσης ίσο με 0,85 και η γεννήτρια ίσο με 0,90.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) υπολογίστηκε η παραγόμενη ισχύς των 11 σημείων που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποκλείοντας το σημείο «σημείο bypass #2» διότι η παραγόμενη ισχύς είναι μηδενική. Παρότι στους κόμβους J: 188 189 και 190 υπολογίστηκαν αρκετά μεγάλες τιμές (1.362,58, 110,64 και 6.790,72 MWatt/έτος αντίστοιχα), αυτοί απορρίπτονται ως πιθανά σημεία εγκατάστασης υδροτουρμπίνων, διότι λαμβάνοντας υπόψιν την γεωμετρία του δικτύου,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

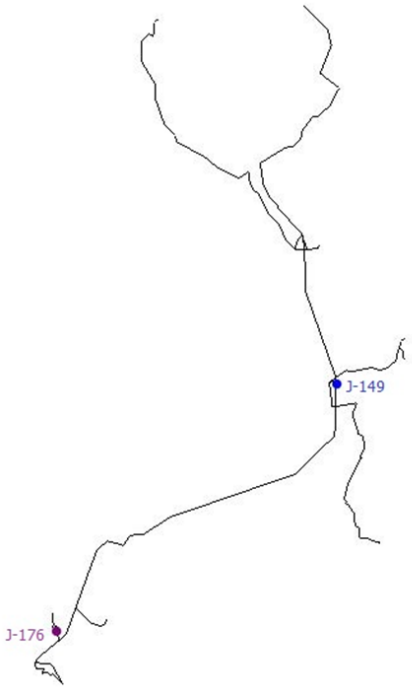
παρατηρείται ότι αυτοί βρίσκονται ακριβώς πριν τα πιεζοθραυστικά φρεάτια, όπου θα τοποθετηθούν σίγουρα υδροτουρμπίνες. Στην εικόνα που ακολουθεί έχουν επισημανθεί με πράσινο οι κόμβοι των τριών πιεζοθραυστικών φρεατίων και με κόκκινο τα υπόλοιπα 6 πιθανά σημεία.



Εικόνα 68 Σημεία τοποθέτησης υδροτουρμπινών στο άνω τμήμα

Επίσης ο κόμβος J-145 δεν θεωρείται κατάλληλος, διότι χωροθετείται ανάμεσα σε δύο πιεζοθραυστικά φρεάτια. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το πιθανότερο σενάριο είναι στον αγωγό που καταλήγει στο συγκεκριμένο κόμβο, δε θα έχει προλάβει να συγκεντρωθεί η κατάλληλη ποσότητα ενέργειας καθώς θα έχει προηγηθεί η πιεζόθραυση. Τα εναπομείναντα πέντε σημεία μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν δύο ομάδες σημείων, δεδομένου ότι βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Τελικά, επιλέχθηκαν 2 κόμβοι, ο J-176 (έχει επισημανθεί με μωβ) και ο J-149 (που επισημανθεί μπλε).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 69 Απεικόνιση των έξτρα σημείων τοποθέτησης υδροτουρμπινών (επιπλέον, τρία πιεζοθραυστικά)

Η διαδικασία για τον υπολογισμό της 1ης εξίσωσης και της πιθανής παραγόμενης ισχύς στα συγκεκριμένα σημεία για κάθε τρίμηνο προβάλλονται στους 4 πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 72 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014. (Τρίμηνο Α)

ΤΡΙΜΗΝΟ Α					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		90			
	J-149	**J-176**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής**
Δh (m)	193,82	73,59	59,63	297,21	140,15
Q (m^3/hrs)	1.251,19	353,01	1.251,19	1.251,18	43,22
Q (m^3/s)	0,35	0,10	0,35	0,35	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	505.546,94	54.157,70	155.536,03	775.193,85	12.627,35
Pel (KW)	**505,55**	**54,16**	**155,54**	**775,19**	**12,63**

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 73 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014 (Τρίμηνο Β)

ΤΡΙΜΗΝΟ Β					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		91			
	J-149	**J-176**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής**
Δh (m)	183,59	9,44	51,49	285,29	140,39
Q (m^3/hrs)	1.550,20	596,67	1.550,20	1.550,16	41,43
Q (m^3/s)	0,43	0,17	0,43	0,43	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	593.283,76	11.742,36	166.382,25	921.927,12	12.124,42
Pel (KW)	**593,28**	**11,74**	**166,38**	**921,93**	**12,12**

Πίνακας 74 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014. (Τρίμηνο Γ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Γ					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92			
	J-149	**J-176**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής**
Δh (m)	194,72	35,07	60,35	298,25	141,43
Q (m^3/hrs)	1.260,20	610,31	1.260,20	1.260,20	34,45
Q (m^3/s)	0,35	0,17	0,35	0,35	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	511.543,50	44.614,24	158.529,78	783.528,72	10.156,89
Pel (KW)	**511,54**	**44,61**	**158,53**	**783,53**	**10,16**

Πίνακας 75 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας στο άνω τμήμα το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Δ					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92			
	J-149	**J-176**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας**	**Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής**
Δh (m)	192,20	12,42	58,34	295,32	140,63
Q (m^3/hrs)	1.336,20	700,31	1.336,20	1.336,20	39,94
Q (m^3/s)	0,37	0,19	0,37	0,37	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	535.381,48	18.131,36	162.510,85	822.617,79	11.708,08
Pel (KW)	**535,38**	**18,13**	**162,51**	**822,62**	**11,71**

Τα αναμενόμενα έσοδα (ανά τρίμηνο αλλά και συνολικά στο έτος) από την εγκατάσταση των υδροτουρμπίνων στα πέντε αυτά σημεία παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Βασική παραδοχή για τον υπολογισμό τους είναι ότι η τιμή πώλησης του ρεύματος στην αρμόδια επιχείρηση ηλεκτροδότησης (Δ.Ε.Η.) είναι ίση 0,16 € ανά Kilowatt καθώς αυτή η τιμή έχει καθοριστεί από το ελληνικό κράτος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 76 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014. (Τρίμηνο Α)

ΤΡΙΜΗΝΟ Α					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		90			
	J-149	J-176	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής
Pel (MWh) στο Α τρίμηνο	1.091,98	68,24	335,96	1.674,42	27,28
Αξία πώλησης για το Α τρίμηνο	174.717,02 €	10.918,19 €	53.753,25 €	267.906,99 €	4.364,01 €

Πίνακας 77 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014 (Τρίμηνο Β)

ΤΡΙΜΗΝΟ Β					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		91			
	J-149	J-176	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής
Pel (MWh) στο Β τρίμηνο	1.295,73	25,11	363,38	2.013,49	25,38
Αξία πώλησης για το Β τρίμηνο	207.317,08 €	4.017,77 €	58.140,61 €	322.158,21 €	4.060,23 €

Πίνακας 78 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014. (Τρίμηνο Γ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Γ					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92			
	J-149	J-176	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής
Pel (MWh) στο Γ τρίμηνο	1.129,49	88,25	350,03	1.730,03	17,75
Αξία πώλησης για το Γ τρίμηνο	180.718,09 €	14.119,52 €	56.005,40 €	276.805,03 €	2.840,68 €

Πίνακας 79 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Δ					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92			
	J-149	J-176	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής
Pel (MWh) στο Δ τρίμηνο	4.689,94	158,83	1.423,60	7.206,13	102,56
Αξία πώλησης για το Δ τρίμηνο	750,39 €	25,41 €	227,78 €	1.152,98 €	16,41 €

Πίνακας 80 Ετήσια έσοδα ανά υδροτουρμπίνα στο άνω τμήμα (2014).

ΕΤΟΣ 2014					
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		365			
	J-149	J-176	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής #2	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ερμακιάς-Γκιώνας	Πιεζοθραυστικό Φρεάτιο Ακρινής
Pel (MWh/έτος)	8.207,14	340,43	2.472,97	12.624,07	172,97
Συνολική Αξία Πώλησης	563.502,58 €	29.080,89 €	168.127,04 €	868.023,22 €	11.281,33 €

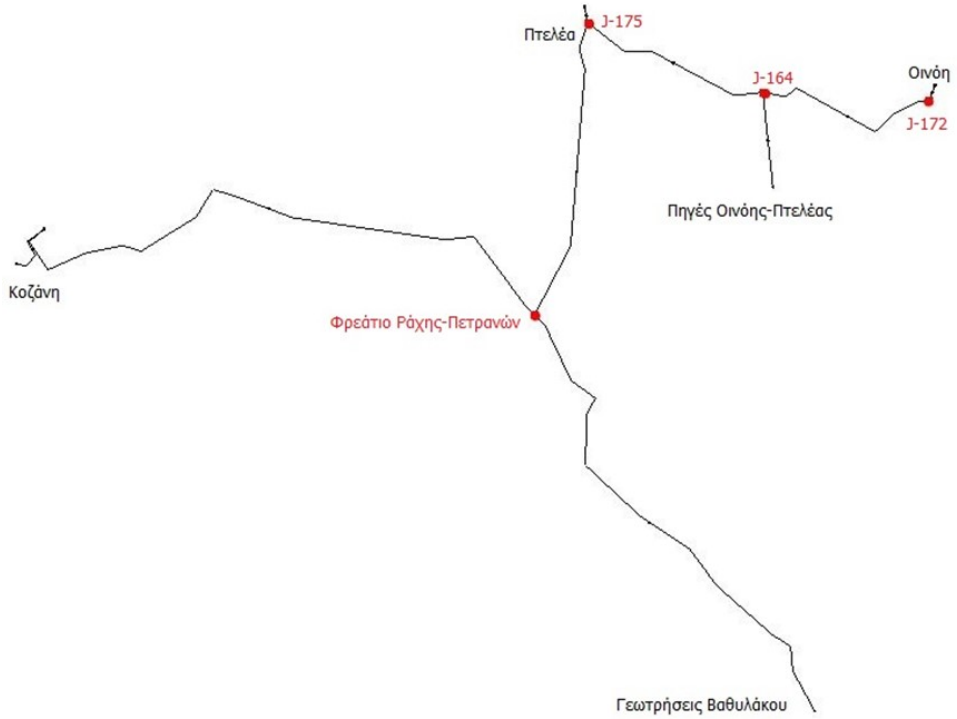
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.4.3. Κάτω Τμήμα

Σχετικά με το κάτω τμήμα του εξωτερικού δικτύου παρατηρείται ότι οι κόμβοι J: 164, 172, 175 και ο κόμβος φρεάτιο Ράχης – Πετρανών μπορούν να αποτελέσουν πιθανές θέσεις εγκατάστασης υδροτουρμπινών, λαμβάνοντας υπόψιν ότι δεν υπάρχουν άλλα σημεία στο δίκτυο.

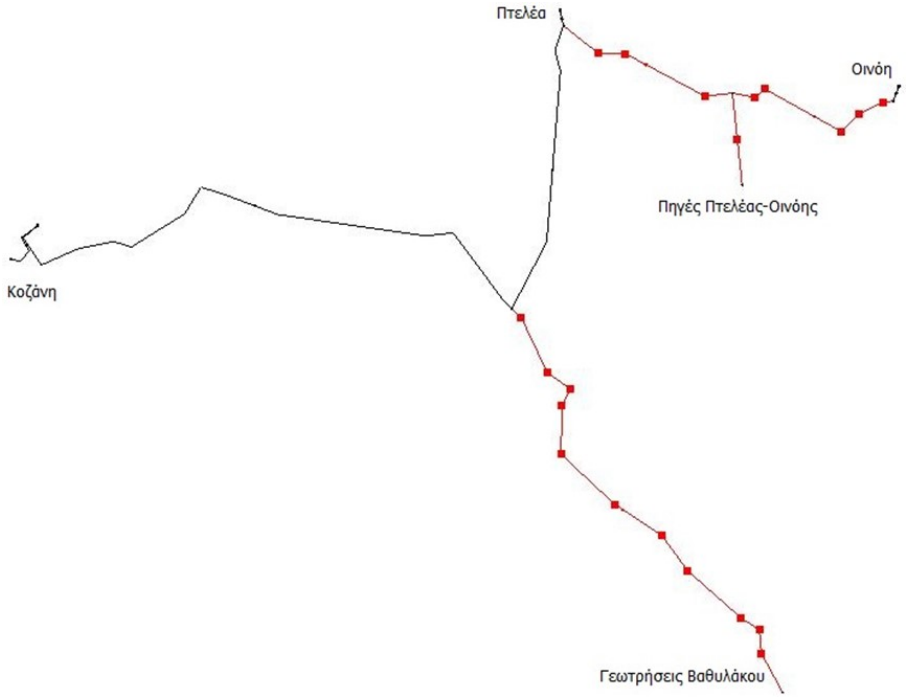
9.4.3.1 Υπολογισμός παραγόμενης ισχύς για κάθε θέση

Σ’ αυτό το σημείο η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια μ’ αυτήν που περιεγράφηκε στο άνω τμήμα. Συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της θεωρητικά πιθανής τιμής ισχύος που μπορεί να παραχθεί σε κάθε κόμβο χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (1). Οι κόμβοι που εξετάστηκαν, όπως επίσης οι αγωγοί που καταλήγουν σε αυτούς έχουν σημειωθεί με κόκκινο χρώμα στις δύο εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 70 Εξεταζόμενοι κόμβοι για το κάτω τμήμα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 71 Εξεταζόμενοι αγωγοί για το κάτω τμήμα.

Για κάθε τρίμηνο υπολογίστηκαν από την εξίσωση (1) οι εξής τιμές.

Πίνακας 81 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Α)

ΤΡΙΜΗΝΟ Α				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		90		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Δh (m)	68,39	73,02	1,27	51,56
Q (m^3/hrs)	838,00	4,00	40,00	44,00
Q (m^3/s)	0,23	0,00	0,01	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	119.471,57	608,88	105,90	4.729,26
Pel (KW)	**119,47**	**0,61**	**0,11**	**4,73**

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 82 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Β)

ΤΡΙΜΗΝΟ Β				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		91		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Δh (m)	67,80	72,74	1,25	51,16
Q (m^3/hrs)	760,00	4,00	41,00	45,00
Q (m^3/s)	0,21	0,00	0,01	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	107.416,56	606,54	107,26	4.799,22
Pel (KW)	**107,42**	**0,61**	**0,11**	**4,80**

Πίνακας 83 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Γ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Γ				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Δh (m)	85,88	78,88	1,41	61,99
Q (m^3/hrs)	2.203,00	11,00	21,00	33,00
Q (m^3/s)	0,61	0,00	0,01	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	394.397,79	1.808,79	61,73	4.264,45
Pel (KW)	**394,40**	**1,81**	**0,06**	**4,26**

Πίνακας 84 Ποσότητες παραγωγής ισχύος κάθε υδροτουρμπίνας για το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Δ				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Δh (m)	87,76	79,38	1,44	63,03
Q (m^3/hrs)	2.309,00	12,00	19,00	31,00
Q (m^3/s)	0,64	0,00	0,01	0,01
g (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ (kg/m^3)	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
nturb.	0,85	0,85	0,85	0,85
ngen.	0,90	0,90	0,90	0,90
Pel (Watt)	422.423,91	1.985,85	57,04	4.073,21
Pel (KW)	**422,42**	**1,99**	**0,06**	**4,07**

Κάνοντας την ίδια παραδοχή για την τιμή πώλησης του ρεύματος προκύπτουν τα εξής έσοδα:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας 85 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014. (Τρίμηνο Α)

ΤΡΙΜΗΝΟ Α				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		90		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Pel (MWh) στο Α τρίμηνο	1.046,57	5,33	0,93	41,43
Αξία πώλησης για το Α τρίμηνο	**167.451,35 €**	**853,40 €**	**148,43 €**	**6.628,54 €**

Πίνακας 86 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014. (Τρίμηνο Β)

ΤΡΙΜΗΝΟ Β				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		91		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Pel (MWh) στο Β τρίμηνο	940,97	5,31	0,94	42,04
Αξία πώλησης για το Β τρίμηνο	**150.555,05 €**	**850,13 €**	**150,33 €**	**6.726,59 €**

Πίνακας 87 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014 . (Τρίμηνο Γ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Γ				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Pel (MWh) στο Γ τρίμηνο	3.454,92	15,84	0,54	37,36
Αξία πώλησης για το Γ τρίμηνο	**552.787,94 €**	**2.535,20 €**	**86,51 €**	**5.977,06 €**

Πίνακας 88 Έσοδα ανά υδροτουρμπίνα για το έτος 2014. (Τρίμηνο Δ)

ΤΡΙΜΗΝΟ Δ				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		92		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Pel (MWh) στο Δ τρίμηνο	3.700,43	17,40	0,50	35,68
Αξία πώλησης για το Δ τρίμηνο	**592.069,35 €**	**2.783,37 €**	**79,94 €**	**5.709,01 €**

Πίνακας 89 Ετήσια έσοδα ανά υδροτουρμπίνα στο κάτω τμήμα (2014).

ΕΤΟΣ 2014				
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ		365		
	Φρεάτιο Ράχης - Πετρανών	**J-164**	**J-172**	**J-175**
Pel (MWh/έτος)	9.142,90	43,89	2,91	156,51
Συνολική Αξία Πώλησης	**1.462.863,69 €**	**7.022,10 €**	**465,21 €**	**25.041,20 €**

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι οι κόμβοι J: 164, 175 και ο κόμβος φρεάτιο Ράχης – Πετρανών, μπορούν να αποφέρουν σημαντικά έσοδα στην Δ.Ε.Υ.Α.Κ, εν αντιθέσει με τον J-172 που δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον. Κοιτώντας προσεκτικά τα υψόμετρα των κόμβων J: 164, 175 και γνωρίζοντας ότι οι αγωγοί που καταλήγουν σ' αυτούς έχουν θετική κλίση (ανωφέρειες), προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν είναι εφικτό τοποθετηθούν υδροτουρμπίνες εκεί από την στιγμή που μετά την πιεζόθραυση η ροή δεν θα μπορεί να συνεχισθεί.

Όσον αφορά τον κόμβο φρεατίο Ράχης – Πετρανών, το υψόμετρό του είναι 698m και χωροθετείται ανάμεσα στις γεωτρήσεις Βαθυλάκου και στην δεξαμενήν Κρεβατάκια. Ο αγωγός που περνάει απ' αυτό το σημείο, εκκινεί από υψόμετρο 436m και φτάνει σε υψόμετρο 760m. Με βάση όσα έχουν

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

αναφερθεί και παραπάνω για την λειτουργίας μίας υδροτουρμπίνας, το σημείο αυτό χαρακτηρίζεται εντελώς αφιλόξενο για εγκατάσταση, από την στιγμή που θα συμβεί πιεζόθραυση, ενώ ταυτόχρονα η ροή του νερού θα πρέπει να υπερκεράσει άλλα εξήντα περίπου μέτρα σε ύψος (άρα ο αγωγός έχει θετική κλίση) διανύοντας περίπου επτά χιλιόμετρα προκειμένου να καταλήξει στην δεξαμενή.

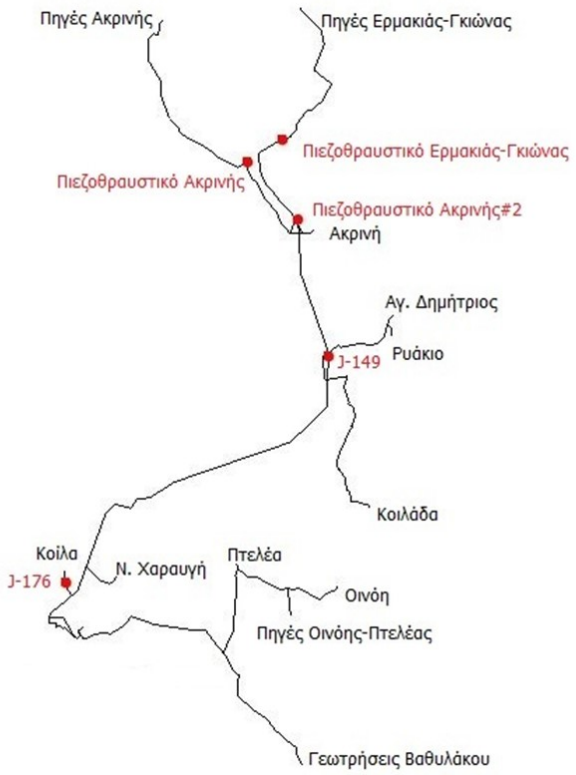
Τελικά, προκύπτει ότι κανένα σημείο του κάτω τμήματος δεν ενδείκνυται για την τοποθέτηση υδροτουρμπίνας.

9.4.4. Σχόλια Περί Αποτελεσμάτων

Συνοπτικά, στο δίκτυο αναπτύσσονται σημαντικά υψηλές πιέσεις και ποσότητες ενέργειας που ως επί το πλείστων εκτονώνονται είτε μέσω δεξαμενών ηρεμίας είτε με την χρήση πιεζοθραυστικών βαλβίδων, τις λεγόμενες ΄PRV΄ (Pressure Release Valve). Αυτό αποτελεί ένα απόλυτα φυσιολογικό γεγονός δεδομένου ότι το νερό εκκινεί από τα 1.340m και καταλήγει στα 683m δηλαδή η υψομετρική διακύμανση μέσα στο δίκτυο είναι περίπου 557m.

Λαμβάνοντας υπόψιν την πλήρη και διεξοδική ψηφιοποίηση του εξωτερικού υδραγωγείου, προκύπτει ότι οι πλέον κατάλληλες θέσεις εγκατάστασης υδροτουρμπινών είναι: το πιεζοθραυστικό φρεάτιο Ακρινής, το πιεζοθραυστικό φρεάτιο Ακρινής 2, το πιεζοθραυστικό φρεάτιο Ερμακιάς- Γκιώνας, και οι κόμβοι J: 149 και

176.



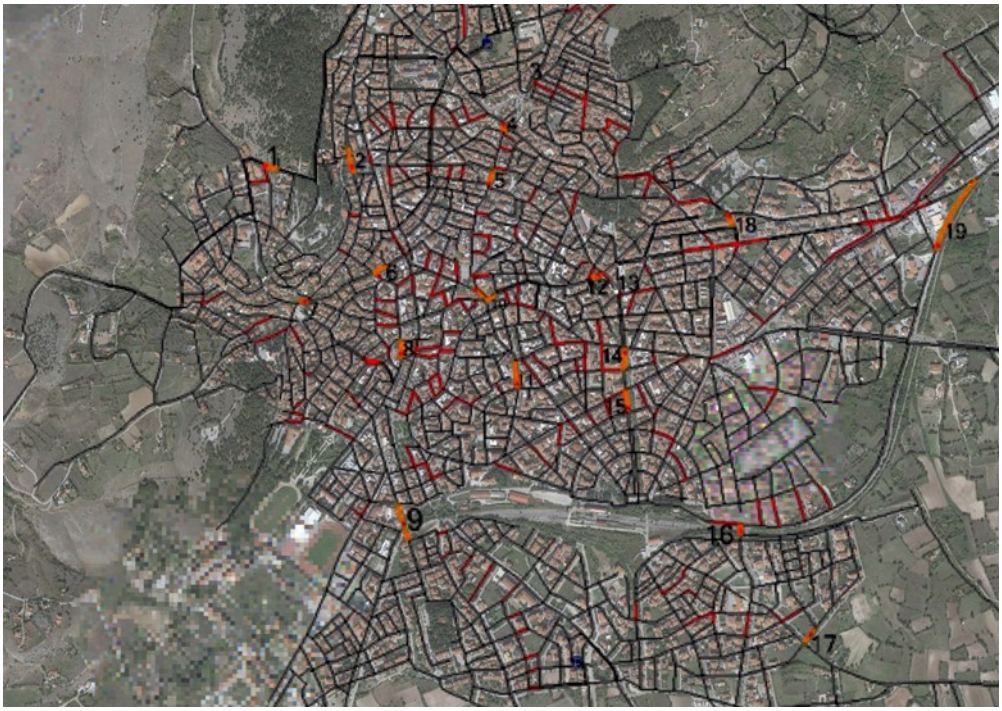
Εικόνα 72 Θέση εγκατάστασης όλων των υδροτουρμπινών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

9.5. Η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του δικτύου διανομής της πόλης της Κοζάνης

Με βάση τους ερευνητές που έχουν ασχοληθεί με τη χρήση των αντλιών ως τουρμπίνες, οι πιθανές θέσεις εγκατάστασης των PaTs (για την ταυτόχρονη επίτευξη ανάκτησης ενέργειας και ρύθμισης της πίεσης στο δίκτυο) ταυτίζονται με τις θέσεις που είναι τοποθετημένες οι PRVs του δικτύου. Ως πιθανές θέσεις θα μπορούσαν να θεωρηθούν και οι αγωγοί, που βρίσκονται μετά από τις δεξαμενές. Όσον αφορά στην περίπτωση της Κοζάνης, για την τοποθέτηση των PaTs επιλέχθηκαν οι θέσεις, που βρίσκονται οι υπάρχουσες PRVs στο δίκτυο. Στο συγκεκριμένο δίκτυο ύδρευσης υπάρχουν 19 βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης σε διαφορετικά σημεία, οι οποίες βρίσκονται στην αρχή κάθε DMA. Με τη χρήση του προγράμματος watergem για το σενάριο, όπου το δίκτυο της Κοζάνης είναι χωρισμένο σε DMAs και οι PRVs απενεργοποιημένες, πήραμε για κάθε δίμηνο στοιχεία για τους αγωγούς, στους οποίους βρίσκονται οι PRVs. Μελετήθηκαν τα στοιχεία:

- Η ηλικία των αγωγών
- Η διάμετρος
- Η πίεση στον κόμβο πριν και μετά την χρήση PRV
- Η τιμής της μέγιστης, μέσης και ελάχιστης ροής
- Το υλικό κατασκευής
- Το μήκος αγωγών
- Η διαφορά υψόμετρου κόμβων.



Εικόνα 73

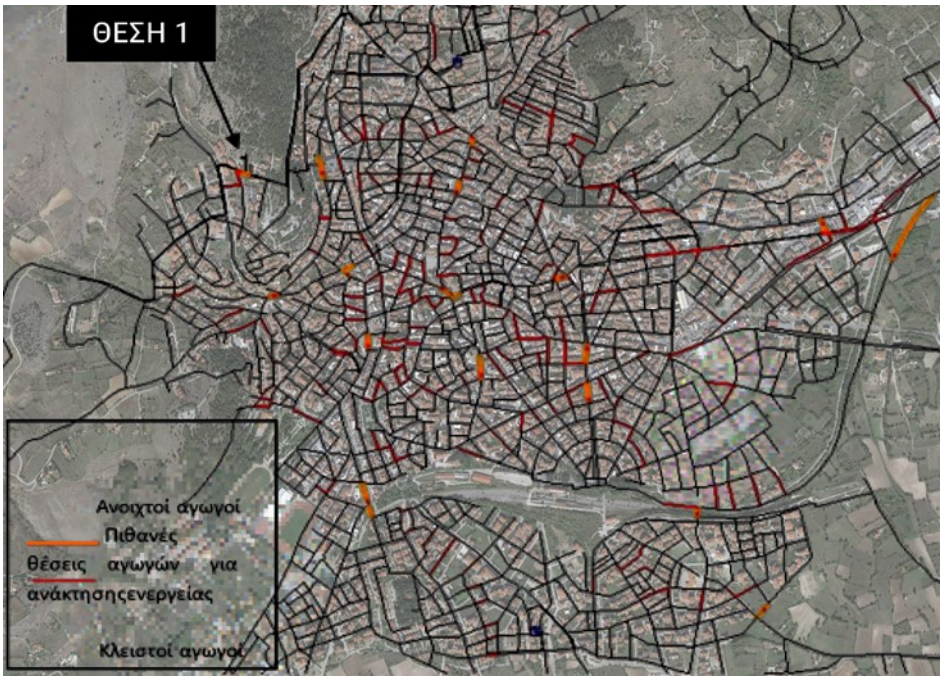
Τα δεδομένα αυτά θα χρειαστούν, ώστε να γίνει η καταλληλότερη επιλογή υδροτουρμπινών, καθώς και για να επιλεγούν τα σημεία, όπου τελικά υπάρχει η δυνατότητα ανάκτησης της ενέργειας. Παρατηρήθηκε ότι σε όλα τα δίμηνα το σημείο 3, όπου βρίσκεται η PRV-14, έχει την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

χαμηλότερη ροή, ενώ το σημείο 10, όπου βρίσκεται η PRV-28, έχει την μεγαλύτερη ροή. Το υλικό των αγωγών είναι PVC ή A/C και η διάμετρός τους κυμαίνεται από 80mm ως 350mm. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι πίνακες με τα σημεία του δικτύου, που μελετήθηκαν για κάθε δίμηνο. Οι αγωγοί έχουν επισημανθεί με πορτοκαλί χρώμα.

9.5.1. ΘΕΣΗ 1

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	1											
Διάταξη	PRV-6											
Διάμετρος(mm)	140											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	12,4											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P268	P269	P268	P269	P268	P269	P268	P269	P268	P269	P268	P269
Κόμβος	J 139	f.N 1219	J 139	f.N 1219	J 139	f.N 1219	J 139	f.N 1219	J 139	f.N 1219	J 139	f.N 1219
Πιεση(Kpa)	382,026	502,887	382,448	503,308	375,8417	496,5333	375,932	496,61	378,402	499,148	380,264	501,03
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	15,4		15,9		20,1		19,9		18,5		18,1	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	24,3		23,2		26,3		28,1		26,4		24,6	
Παροχή(m^3/h)	20,9		19,9		23,1		23,7		22,4		21,7	
Μήκος(m)	39	17	39	17	39	17	39	17	39	17	39	17



Εικόνα 74 Σημείο 1 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

9.5.2. Εκτίμηση ενέργειας αγωγού για κάθε θέση

Προκειμένου να εκτιμηθεί η υδραυλική ενέργεια, που πιθανόν μπορεί να ανακτηθεί με την εγκατάσταση υδροτουρμπίνας σε ένα συγκεκριμένο αγωγό, τόσο από επιστημονικά άρθρα, όπως των O. Paish 2002, B. A. Nasir 2013, όσο και από κατασκευαστές (AC- TEC), προτείνεται η συνάρτηση, η οποία εξαρτάται, κυρίως, από το μανομετρικό ύψος και την παροχή του αγωγού, καθώς και από την απόδοση της υδροτουρμπίνας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

$$P_{el} = \Delta h * Q * g * \rho * n_{turb.} * n_{gen.} \ (\mathrm{W}att) \quad (1)$$

$$P_{el} = (m) * (\frac{m^3}{s}) * (\frac{m}{s^2}) * (\frac{kg}{m}) = (kg * \frac{m^2}{s^3}) = \frac{J}{S} = \mathrm{W}$$

Όπου:

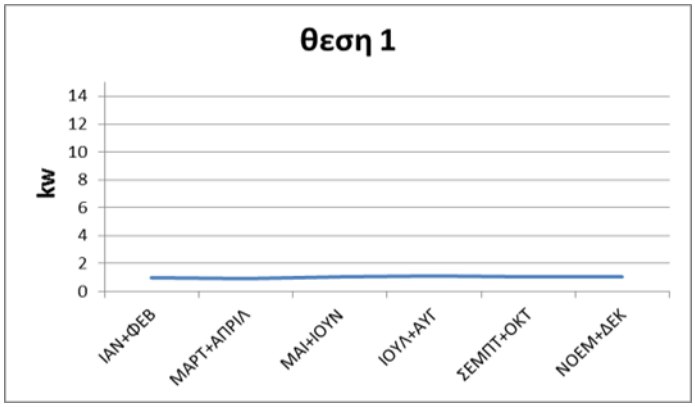
Pel = είναι η μηχανική ενέργεια, που μπορεί να παράγει η υδροτουρμπίνα
Δh = το μανομετρικό ύψος (ανάντη) - μανομετρικό ύψος (κατάντη) (m)
Q = η παροχή του νερού (m3/s)
g = η επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/s2)
ρ = η πυκνότητα του νερού (1000 kg / m3)
nturb = ο συντελεστής απόδοσης τουρμπίνας (συνήθως 0,8-0,9)
ngen = ο συντελεστής απόδοσης γεννήτριας (συνήθως 0,8-0,9)

Επομένως, με τη συνάρτηση (1) υπολογίζεται η πιθανή ενέργεια, που θα μπορούσε να μετατραπεί σε μηχανική και να αξιοποιηθεί. Ο συντελεστής απόδοσης της τουρμπίνας, στην περίπτωση αυτή, εξαρτάται από τη μανομετρική διαφορά (net head).

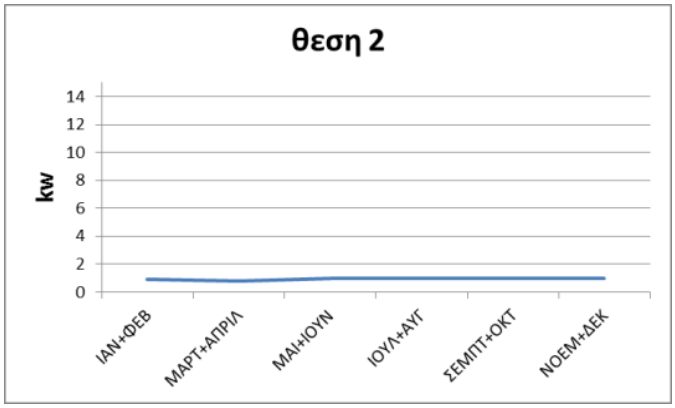
Με τη συνάρτηση (1) υπολογίστηκε η πιθανή ενέργεια, που μπορεί να ανακτηθεί από τις 19 θέσεις του δικτύου που επιλέχθηκαν. Στη συνάρτηση για κάθε θέση, ως παροχή του νερού, θεωρήθηκε η παροχή της PRV και ως μανομετρικό ύψος οι μανομετρικές απώλειες της εκάστοτε PRV, καθώς δεν είναι δυνατό να αξιοποιηθεί όλη η ενέργεια, που βρίσκεται σε κάθε αγωγό. Αυτό συμβαίνει, γιατί η εγκατάσταση υδροτουρμπίνων αφορά στο δίκτυο ύδρευσης και, επομένως, μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο η ενέργεια που δε χρειάζεται για τη σωστή λειτουργία του. Η πίεση του δικτύου, δηλαδή, πρέπει σ' όλη τη διάρκεια της ημέρας να βρίσκεται πάνω από 2atm, ώστε να εξυπηρετούνται οι καταναλωτές.

Η εκτίμηση του δυναμικού είναι απαραίτητη, ώστε να δούμε αν υπάρχει στο δίκτυο επαρκής ενεργεία, που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, καθώς και η δυνατότητα αντικατάστασης των PRV με PAT. Δίνει, ακόμη, τη δυνατότητα να αναζητηθεί ο κατάλληλος εξοπλισμός στο εμπόριο. Από τις 19 θέσεις, που επιλέχθηκαν, η πιο ικανή για την παραγωγή περισσότερης ενέργειας είναι η θέση 10, που βρίσκεται στη DMA M, και στην οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια ως και 11kW/h. Η μέγιστη παραγωγή εμφανίζεται τον Ιούλιο, λόγω της μεγάλης ζήτησης, που οδηγεί στην αύξηση της παροχής. Αντίθετα, η μικρότερη παραγωγή ενέργειας εμφανίζεται στη θέση 9 και 12, που είναι κάτω από 0,5kW. Η θέση 7, αν και επιλέχτηκε αρχικά, στη συνέχεια απορρίφθηκε, καθώς δεν τοποθετήθηκε PRV.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 138 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 1



Γράφημα 139 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 2

Από τις 19 πιθανές θέσεις (αναλυτικά διαθέσιμες στο παράρτημα) , που επιλέχτηκαν με βάση τη μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας σε kW/h, επιλέχτηκαν μόνο 7 θέσεις, οι οποίες είναι ικανές να ανακτήσουν ενέργεια. Οι τελικές θέσεις, που επιλέχτηκαν, έχουν μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά ώρα πάνω από 1,2kW. Ως τέτοιου είδους θέσεις αναδείχθηκαν, η θέση 10, που βρίσκεται στη DMA M, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 10 kW/h, η θέση 11, που βρίσκεται στη DMA 5, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 2,07 kW/h, η θέση 8, που βρίσκεται στη DMA 4K, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 1,40 kW/h, η θέση 13, που βρίσκεται στη DMA 12, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 5,17 kW/h, η θέση 14, που βρίσκεται στη DMA 7, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 1,22 kW/h, η θέση 18, που βρίσκεται στη DMA 18, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 3,45 kW/h και η θέση 19, που βρίσκεται στη DMA 13, με μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 3,25 kw/h. Πρόκειται για την ενέργεια, που θα μπορούσε να ανακτηθεί από κάθε θέση.

9.5.3. Η ανάκτηση ενέργειας ως μέσο ρύθμισης της πίεσης – Το μέγιστο πλεονέκτημα

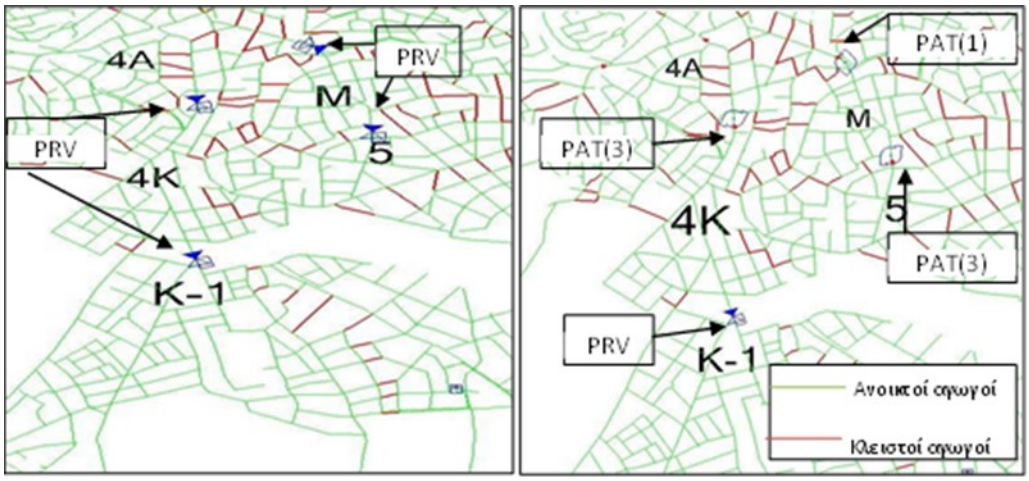
Τέλος, ενεργοποιήθηκαν οι PATS αλλά και οι PRVs στις υπόλοιπες DMAs, που προηγουμένως δεν τοποθετηθήκαν PaTs. Στο πλαίσιο αυτό έγινε σύγκριση με το σενάριο, κατά το οποίο τοποθετούνται σε όλες τις DMAs PRVs.

Αρχικά, για την πρώτη ομάδα υποζωνών παρουσιάζονται τα ετήσια οφέλη και για τις δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη υποζώνη, με βάση το σενάριο 2, έχουμε τοποθετήσει στη DMA M την PAT(1), την PAT(2) στη DMA 4K και την PAT(3) στη DMA 5. Στη συνέχεια, ενεργοποιήθηκε και η PRV στη DMA K-1 και ρυθμίστηκε στα 325Kpa. Στο σενάριο, όπου έχουμε μόνο τις PRVs, ενεργοποιούμε και την PRV στη DMA K-1 ρυθμισμένη στα 310Kpa. Είναι σκόπιμο, στο σημείο αυτό, να υπενθυμιστεί ότι οι PRVs στις DMAs M, 4K και 5 είναι ρυθμισμένες στα 250, 230 και 200Kpa αντίστοιχα. Στη DMA 4A δεν τοποθετήθηκε, τελικά, PRV, καθώς έγινε αρκετή ρύθμιση της πίεσης από την PRV στη DMA M και οποιαδήποτε περαιτέρω μείωση θα προκαλούσε πρόβλημα στη DMA 4A ρίχνοντας την πίεση αρκετούς κόμβους κάτω από 2atm.

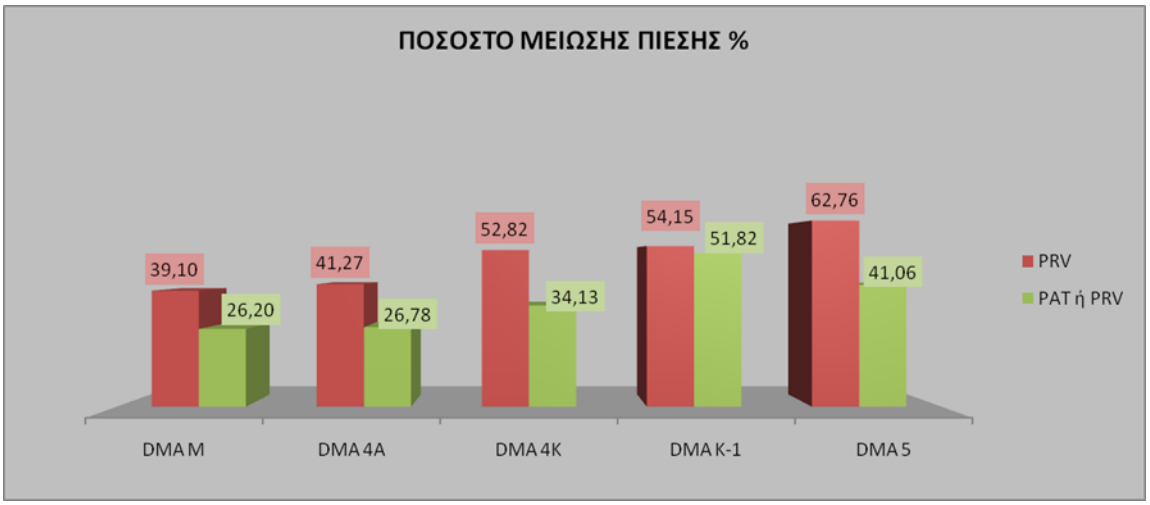
Γίνεται, επομένως, αντιληπτό ότι με το συνδυασμό PaTs και PRVs υπάρχει σε όλη τη ζώνη μια μέση μείωση της πίεσης, που κυμαίνεται από 26% έως 51% ανάλογα με τον μηχανολογικό εξοπλισμό. Επίσης, το ετήσιο νερό που εξοικονομείται σε όλη τη ζώνη κυμαίνεται από 35.000m3 στη DMA 4A έως και 115.000m3 στη DMA 5. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τις τουρμπίνες, που τοποθετηθήκαν στις DMAs M, 4K και 5 φτάνει τα 71Mw,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

11.2 Mw και 11.2 Mw αντίστοιχα. Η παραγωγή ενέργειας στις DMAs M, 4K, σε σύγκριση με το σενάριο 2, είναι ελαφρώς μειωμένη κατά 2.000Kw. Και στην περίπτωση αυτή, μετά την τοποθέτηση της PRV στην τελευταία DMA επηρεάζεται η λειτουργία των τουρμπίνων, που βρίσκονται στις παραπάνω DMAs, με αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερη εξοικονόμηση νερού της τάξεως των 5000m3 σε καθεμιά από αυτές. Αντίθετα, στην περίπτωση που έχουμε μόνο τις PRVs η εξοικονόμηση νερού στη ζώνη κυμαίνεται από 50,000m3 στη DMA 4A και φτάνει τα 187,000m3 στη DMA 5. Η μείωση της πίεσης στις διάφορες ζώνες κυμαίνεται από 39% έως 62%.

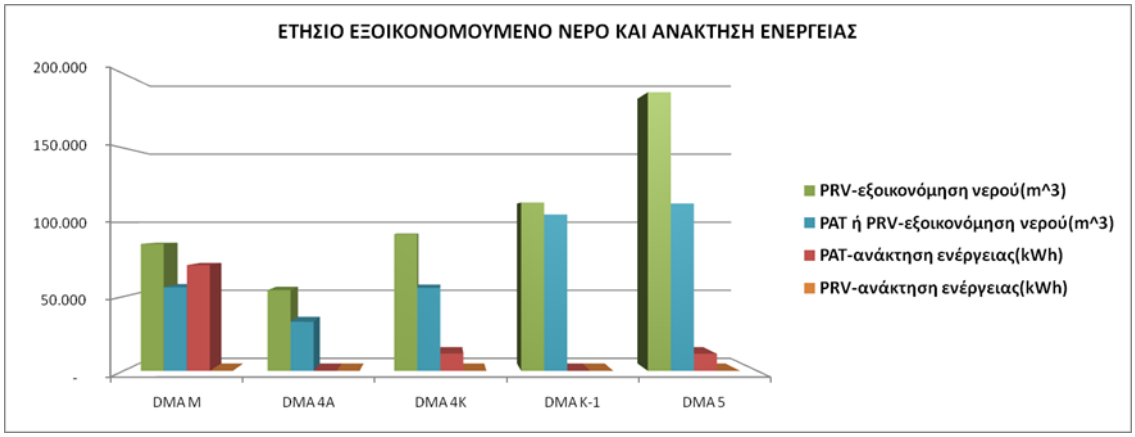


Εικόνα 75 Τοποθέτηση PRVs ή PaTs στην πρώτη υποζώνη



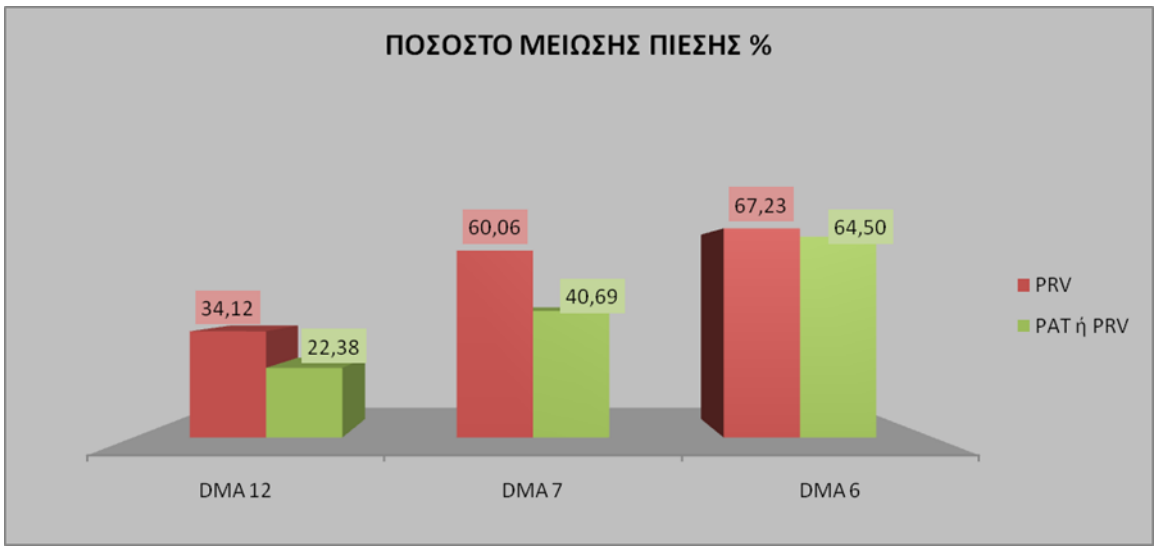
Γράφημα 140 Ετήσιο ποσοστό μείωσης της πίεσης για τις DMA της πρώτης ομάδας υποζωνών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



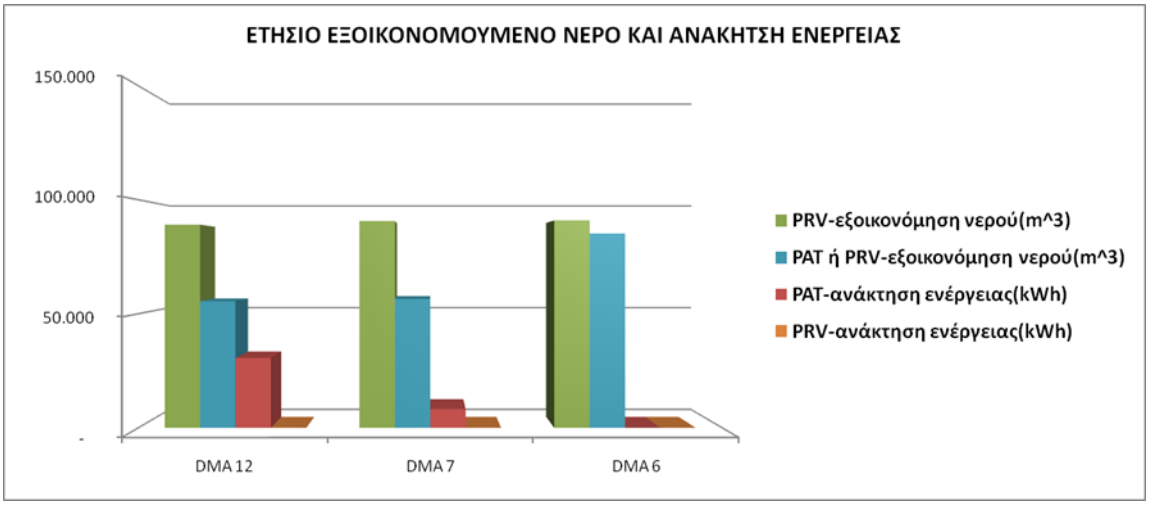
Γράφημα 141 Ετήσια εξοικονόμηση νερού και ανάκτηση ενέργειας των DMAs της πρώτης ομάδας υποζωνών

Στην τέταρτη ομάδα υποζωνών, εκτός των PaTs, που τοποθετηθήκαν στις DMAs 12 και 7, τοποθετήθηκε, στη DMA 6, PRV ρυθμισμένη στα 220kpa. Αυτό το σενάριο συγκρίθηκε με εκείνο, όπου υπήρχε ενεργοποίηση μόνο των PRVs σε όλες τις DMAs της ζώνης και ήταν ρυθμισμένες στα 200, 250 και 200 αντίστοιχα για τις DMAs 12, 6 και 7. Όταν έχουμε και PRV και PAT, η ετήσια μείωση της πίεσης κυμαίνεται στη ζώνη από 22% έως 65% ενώ, όταν υπάρχουν μόνο PRVs, η μείωση της πίεσης κυμαίνεται από 34% έως 67% ανάλογα τη DMA. Και σε αυτή τη ζώνη παρατηρείται ότι στις DMAs, στις οποίες υπάρχουν υπάρχουν PaTs, η μείωση του εξοικονομούμενου νερού σε καθεμία φτάνει περίπου τα 5000m3, λόγω της τοποθέτησης της PRV, ενώ παράλληλα σημειώνεται μείωση της πίεσης κατά 2%. Η ετήσια εξοικονόμηση νερού από όλη την ζώνη είναι στα 270,000m3, όταν έχουμε μόνο PRVs, ενώ, όταν έχουμε και PaTs και PRVs, φτάνει τα 197.000m3 το χρόνο. Τέλος, από τις PaTs έχουμε μια συνολική ανάκτηση ενέργειας περίπου 39Mwh το χρόνο.



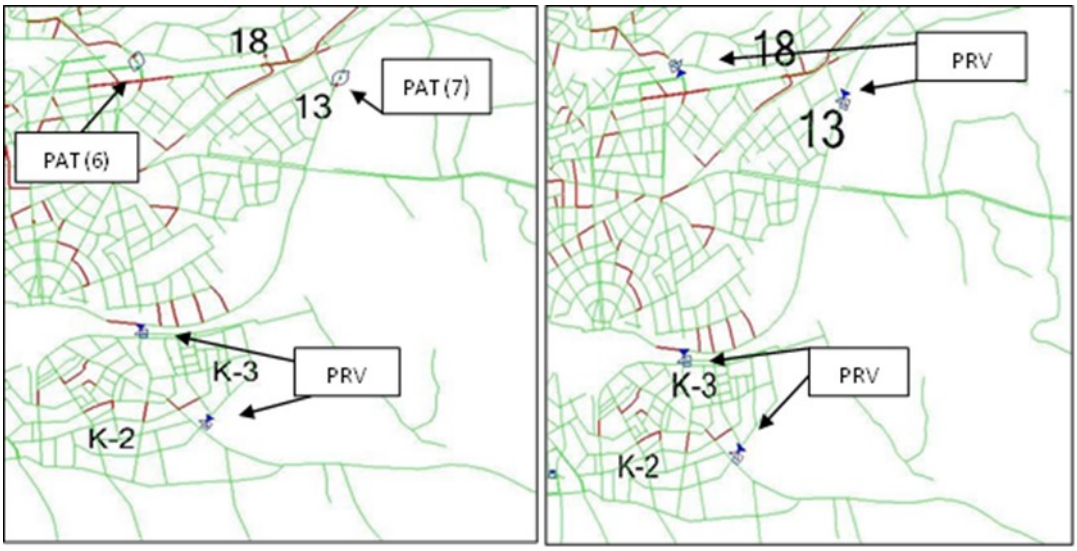
Γράφημα 142 Ετήσιο ποσοστό μείωσης της πίεσης για τις DMAs της τέταρτης ομάδας υποζωνών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



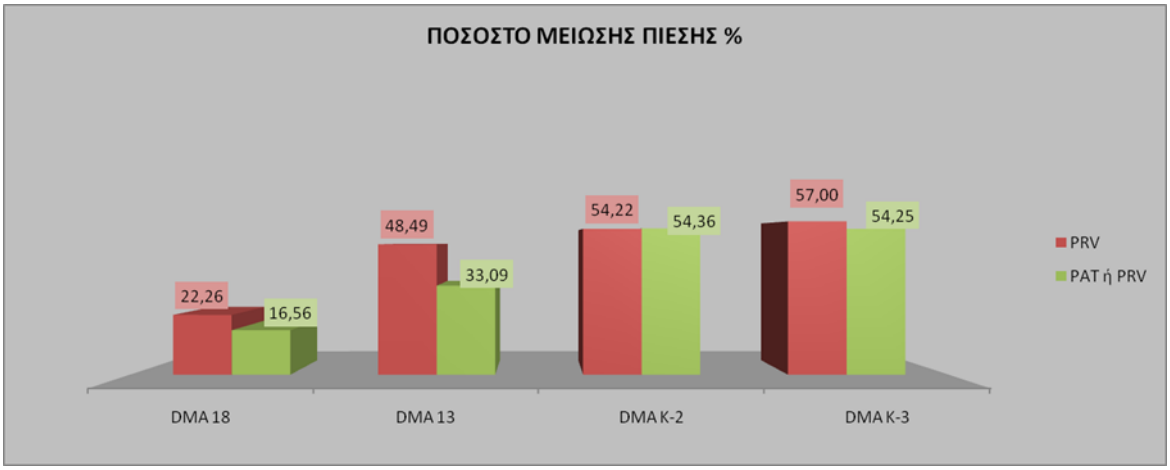
Γράφημα 143 Ετήσια εξοικονόμηση νερού και ανάκτηση ενέργειας των DMAs της τέταρτης ομάδας υποζωνών

Τέλος, μετά την τοποθέτηση των PaTs στις DMAs 18 και 13 ενεργοποιήθηκαν και εκεί οι PRVs στις επόμενες DMAs (K-3και K-2) και ρυθμιστήκαν στα 270kpa και 260kpa αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα συγκριθήκαν με την τοποθέτηση μόνο PRVs σε όλες τις DMAs, οι οποίες ρυθμιστήκαν στα 350kpa, 385kpa, 250kpa, 240kpa αντιστοίχως για τις DMAs 18,13,K-3,K-2. Η DMA 18 δεν ανήκει σε κάποια ζώνη, ενώ οι υπόλοιπες DMAs συνιστούν τη δεύτερη ομάδα υποζωνών. Όταν έχουμε και PRV και PAT στη δεύτερη ζώνη, η ετήσια μείωση της πίεσης κυμαίνεται από 33% έως 54%, ενώ αντίστοιχα, όταν υπάρχουν μόνο PRVs από 48% έως 57% ανάλογα τη DMA. Η ετήσια εξοικονόμηση νερού συνολικά από όλη τη ζώνη ανέρχεται στα 304.000m3, όταν έχουμε μόνο PRVs, ενώ όταν έχουμε PAT και PRV, φτάνει τα 253.000m3 το χρόνο. Επίσης, από την PAT στη DMA 13 έχουμε μια συνολική ανάκτηση ενέργειας της τάξεως των 17Mwh το χρόνο. Για αυτό το σενάριο, όταν λειτουργεί η PAT στη DMA 18, έχουμε παραγωγή ενέργειας, που φτάνει τις 19Mwh το χρόνο, η πίεση μειώνεται κατά 17% και εξοικονομούνται περίπου 25.000m3 νερού το χρόνο, ενώ όταν λειτουργεί η PRV έχουμε μείωση της πίεσης κατά 22% και η εξοικονόμηση νερού αγγίζει τα 35.000m3 το χρόνο.

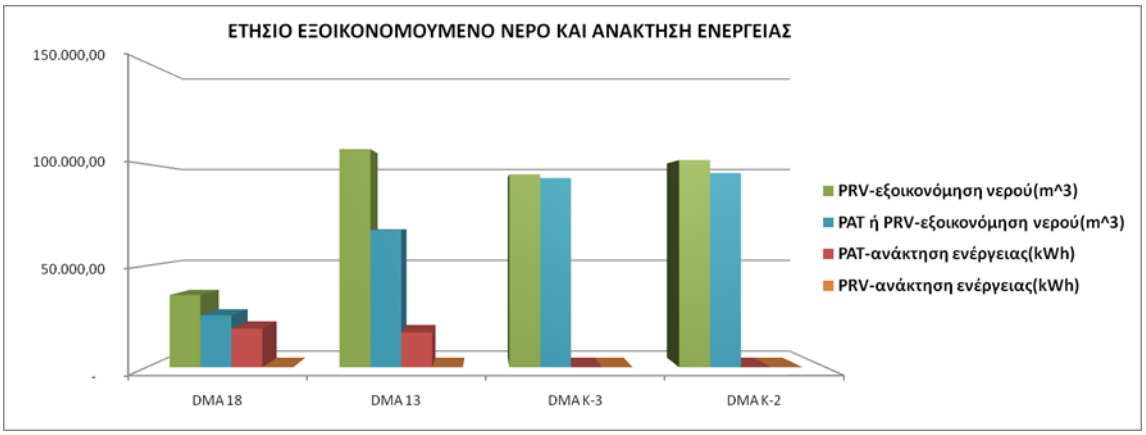


Εικόνα 76 Τοποθέτηση PRVs ή PaTs στην DMA 18 στη δεύτερη υποζώνη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 144 Ετήσιο ποσοστό μείωσης της πίεσης για τις DMAs της δεύτερης ομάδας υποζωνών



Γράφημα 145 Ετήσια εξοικονόμηση νερού και ανάκτηση ενέργειας των DMAs της δεύτερης ομάδας υποζωνών

9.7. Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Τα δίκτυα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον ως προς τη μελέτη του ενεργειακού του δυναμικού. Προφανώς τα δίκτυα που εξυπηρετούνται κυρίως βαρυτικά μπορεί να έχουν το μεγαλύτερο πλεόνασμα ενέργειας και μάλιστα ενέργειας που έρχεται φυσικά στο σύστημα, ενώ τα αντλούμενα νερά προφανώς πρέπει να πρώτα να τύχουν διαχείρισης της λειτουργίας σε επίπεδα οικονομικά πριν τεθεί θέμα ανάκτησης. Τόσο τα εξωτερικά δίκτυα μεταφοράς όσο και τα εσωτερικά έχουν προφανείς θέσεις που ο κάθε διαχειριστής μπορεί να θέσει υπό εξέταση για τη εγκατάσταση μιας PAT. Η παραγόμενη ενέργεια ακόμα και με καθεστώς net metering μπορεί να αφήσει πολύ μεγάλο κέρδος στις ΔΕΥΑ. Το νερό για να φτάσει σπίτι μας έχει περάσει από αρκετές ενεργοβόρες διαδικασίες έστω ακόμα και τη διύλιση και τον ποιοτικό έλεγχο.

Η προτεινόμενη διάταξη μηχανολογικά είναι καινοτόμα και δεν βασίζεται σε καμία γνωστή και εφαρμοσμένη μέχρι τώρα πρακτική. Βασικό πλεονέκτημα είναι ο χρονικός συντελεστής απόδοσης που πραγματικά δύναται να είναι 100%. Τα υλικά της PAT που χρησιμοποιήθηκε πειραματικά είναι εύκολο να βρεθούν και να συντηρηθούν άρα αργότερα σαν εφαρμογή θα μπορεί να γίνει εύκολα και σε ευρεία παραδειγμάτων. Τα αποτελέσματα του πειράματος αν και σε περιορισμένα μεγέθη αγωγών είναι ενθαρρυντικά και τα δεδομένα εισαγωγής είχαν ρεαλιστικές τιμές. Η ανάκτηση ενέργειας που προκύπτει δεν είναι απαραίτητα τόσο μεγάλης ισχύος που να τραβάει τα βλέμματα αυτούσια όμως συνδυασμένη με τη ρύθμιση της πίεσης το πλεονέκτημα είναι διπλό και απόλυτο!

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Κατά τη ρύθμιση της πίεσης η ενέργεια καταστρέφεται ενώ με τη χρήση PAT γίνεται ηλεκτρισμός και καλύπτει ποικίλες ανάγκες. Επίσης δίνεται η ευκαιρία ακόμα και σε σημεία του δικτύου το δίκτυο ηλεκτρισμού δεν έχει φτάσει, να έχουμε τοπική ηλεκτροπαραγωγή ώστε να καλύψουμε ανάγκες τηλεμετρίας ή τηλεδιαχείρισης. Προτείνεται η εκτενέστερη διερεύνηση αυτής της οδού σε πρακτικό επίπεδο ώστε να διασφαλιστούν οι συνέπειες στο δίκτυο ποσοτικά και ποιοτικά.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Καθολικά Συμπεράσματα

Έπειτα από 9 κεφάλαια,

Είδαμε την αξία του νερού και τις πολλές όψεις που εμφανίζει μέσα στη ζωή μας. Είναι τόσο σημαντικό για ζωή και την υγεία μας όσο και για την οικονομία μας. Η Ελλάδα είναι σε μία θέση παγκοσμίως που πρέπει να σκεφτεί βαθιά για το νερό της. Υπάρχει ακόμα αρκετό νερό όμως τα επίπεδα σπατάλης είναι άγνωστα. Μάλλον πολύ μεγαλύτερα από όσο νομίζουμε και το μέλλον θα είναι δύσκολο αν δεν διαχειριστούμε τις ανάγκες, τις χρήσεις και τον υδατικό πόρο που έχουμε διαθέσιμο.

Τα ψηφιακά δίδυμα, τα ψηφιακά υδραυλικά μοντέλα που με υψηλό επίπεδο ακρίβειας, προσομοιώνουν την πραγματικότητα στον υπολογιστή είναι πλέον σε ευρεία διάθεση. Πρέπει ο μηχανικός να εκπαιδευτεί επαρκώς ώστε να γνωρίζει σε βάθος τη φυσική του προβλήματος και με ορθή γεωμετρία να δημιουργεί ψηφιακά δίδυμα δικτύων πόλεων ώστε να εξετάζει και να μελετά κάθε πρόβλημα και τις πιθανές του λύσεις. Όσο πιο καλά είναι διαμορφωμένο ένα υδραυλικό μοντέλο τόσο πιο αξιόπιστα αποτελέσματα θα προκύψουν από τη μελέτη του. Τα digital twins είναι γνωστά σε κάθε επιστήμη για δύο πράγματα. Πρώτον για την υψηλή τεχνολογική απαίτηση επίλυσής τους αλλά και για την απαιτητική και εξαιρετικά δύσκολη δημιουργία τους. Όμως είναι το καλύτερο εργαλείο στα χέρια κάθε διαχειριστή και μπορεί να κάνει τη διαφορά στη διαχείριση του ελληνικού νερού.

Κάθε διαχειριστής νερού έχει κατά καιρούς εφαρμόσει τεχνικές περιορισμού του εισερχόμενου νερού στο δίκτυό του ή ρύθμισης των απωλειών. Κάποιοι γνωρίζοντας καλύτερα έχουν προσπαθήσει να δαμάσουν και την εσωτερική πίεση των δικτύων τους. Πολύ λίγες όμως φορές σκέφτηκε κανείς πως επιτυγχάνοντας μια διαφορά στην ποσότητα ή στην πίεση του νερού στο δίκτυο, μπορεί να επιφέρει αντίθετα αποτελέσματα στην ποιότητα. Η παγκόσμια βιβλιογραφία ασχολείται πολύ λίγο με το ποιοτικό αποτύπωμα των τεχνικών ρύθμισης της πίεσης και εδώ αποδείξαμε πως κακώς. Μελετώντας αναλυτικά 5 διαφορετικά υδραυλικά μοντέλα σε επίπεδο digital twin αποδείξαμε πως είναι πολύ πιθανό να έχουμε αρνητικά αποτελέσματα κατά τη ρύθμιση της πίεσης και του περιορισμού των εισερχόμενων ποσοτήτων νερού σε ένα δίκτυο. Ακόμα και οι ζωνοποιήσεις που κάποιες φορές λειτουργούν ευεργετικά στην πίεση, δεν είναι απαραίτητο να κάνουν το ίδιο στην ηλικία.

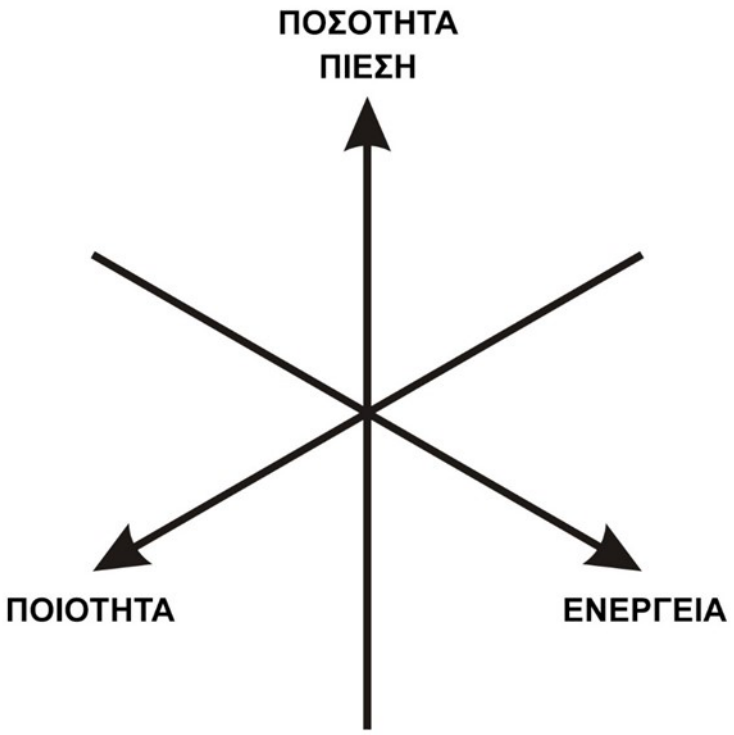
Η ηλικία ως παράγοντας ποιότητας του νερού στο δίκτυο, είναι εξαιρετικά σημαντικός και επηρεάζει τη χλωρίωση του ή αλλιώς την όποια αντιβακτηριδιακή μέθοδο εξυγίανσης του πόσιμου νερού. Κάθε δίκτυο όμως και κάθε ζώνη πρέπει να γνωρίζει πότε έχει ηλικία που ξεπερνά τα επίπεδα που επιτρέπονται βάση της πυκνότητας χλωρίου που τροφοδοτεί. Για την καλύτερη διαχείριση του δικτύου όλου ή της κάθε ζώνης λοιπόν οφείλει κανείς να γνωρίζει τον ρυθμό ενηλικίωσης που έχει, παρατηρώντας συγχρόνως το χρόνο που περνάει. Έτσι ξέρει πότε πρέπει να ενεργεί ανάλογα με την ηλικία που περιμένει να φτάσει σε κάθε σημείο ύδρευσης και να προστατεύσει τους καταναλωτές από το να πάρουν κακό ή και επικίνδυνο ποιοτικά νερό. Ο ρυθμό ενηλικίωσης μπορεί να είναι ένας δείκτης αξιολόγησης μιας ζώνης και σίγουρα ένας βαρυτικός συντελεστής πρωτεραιοποίησης των αναγκών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Σήμερα δεν αρκεί για να έχεις ολοκληρωμένη παρατήρηση και διαχείριση. Η ενέργεια παγκοσμίως είναι το νούμερο ένα θέμα συζήτησης καθώς το κόστος εξασφάλισής της είναι συνεχώς ανοδικό. Όλες οι προτάσεις υλοποίησης κάθε έργου γενικώς αλλά και όσο αφορά το πόσιμο νερό έχουν εξασφαλίσει πρώτα τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις και εντοπίσει την πηγή ενέργειας που απαιτείται πριν υλοποιηθούν. Και ενώ όλοι έχουν στραφεί στον ήλιο και τον άνεμο για ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, έρχεται η ώρα να αναδειχθεί η ευκαιρία ανάκτησης ενέργειας από ένα δίκτυο εσωτερικό και εξωτερικό. Οι παραγόμενες ισχείς δεν είναι αρκετές να αλλάξουν τον πλανήτη όμως δεν είναι καθόλου απαρατήρητες στις εταιρείες διαχείρισης πόσιμου νερού οι οποίες έχουν τεράστιες ενεργειακές ανάγκες. Με μία νέα μηχανολογική διάταξη υδροτουρμπίνας βασισμένης στις pumps as turbines, η οποία μελετήθηκε πειραματικά σε μικρή κλίμακα, αναδύεται η ευκαιρία να εκμεταλλευτούμε την περίσσεια ενέργεια από κάθε αγωγό καθώς παράλληλα να ρυθμίσουμε και την πίεση των δικτύων μας.

Από όλα τα παραπάνω, μία εντύπωση είναι χαραγμένη βαθιά, η πολυσήμαντη προσέγγιση που χρειάζεται η διαχείριση του πόσιμου νερού. Η τρισδιάστατη διαχείριση είναι μονόδρομος και οι άξονες των τριών αυτών διαστάσεων έχουν ομοιοτροπία με το καρτεσιανό σύστημα. Και οι τρεις άξονες τέμνονται στο σημείο 0 για όλους ή αλλιώς ένα σημείο αρχής - αναφοράς. Επεκτείνονται σε τρεις όμως διαφορετικές διευθύνσεις και οι πορείες τους είναι ανεξάρτητες. Κάθε απόφαση ή πρακτική έχει την προβολή της μέσα σε αυτό το χώρο που ορίζεται από τις διαστάσεις της ποσότητας, της ποιότητας και της ενέργειας. Σε κάποιες περιπτώσεις η συσχέτιση των δύο ή και των τριών είναι αντίστροφη ενώ αλλού όχι. Ο κάθε διαχειριστής λοιπόν μελετώντας το δίκτυό του πρέπει να κατατάσσει τα αποτελέσματα της λειτουργίας και κάθε πιθανής ενέργειας μέσα σε αυτό το χώρο των τριών διαστάσεων. Μόνο έτσι θα περιγράφεται ορθά και ολοκληρωμένα κάθε αιτιολόγηση ή πρόταση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 77 Οι τρεις άξονες σε καρτεσιανή μορφή.

Ας φέρουμε όλα τα δίκτυα πάνω στους τρεις αυτούς άξονες και ας εντοπίσουμε την προβολή τους στον καθένα. Έτσι μόνο θα εκτιμηθεί το επίπεδο καλής διαχείρισης γενικά και θα ληφθούν εύστοχες αποφάσεις σε επίπεδο κράτους και αρχών ώστε όχι μόνο να αποφευχθεί το χειρότερο σενάριο της λειψυδρίας αλλά και να φθάσουμε σε ένα καλύτερο επίπεδο προσφοράς νερού ποιοτικού και οικονομικού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Βιβλιογραφία

Adu E. K. and Poo D. C. ***(2014)****. Smart learning: A new paradigm of learningin the smart age. in Proc. Int. Conf. Teach. Learn. Higher Educ. (TLHE). Singapore: National Univ. Singapore*

Alam K. M. and El Saddik A. ***(2017)****. C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems. IEEE Access, vol. 5: 2050–2062*

Araiza WD. ***(1997)****. Democracy, distrust and the public trust: Process-based constitutional theory, the public trust doctrine and the search for a substantive environmental value. UCLA LR 45: 385–452*

Arbués, Fernando & Villanúa, Inmaculada & Barberán, Ramón. ***(2010)****.Household Size and Residential Water Demand: An Empirical Approach. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics - AUST J AGRIC RESOUR ECON. 54:61-80. 10.1111/j.1467-8489.2009.00479.x.*

Aylward, Bruce. ***(2016)****. Water, Public Goods and Market Failure. ANNEX Final Report on Political Economy of Water Markets, AMP Insights Ecosystem Economics*

Babcock, H.M. ***(2009).*** *The Public Trust Doctrine: What a Tall Tale They Tell. S. C. Law Rev., vol. 61: 393–414.*

Bakker K. ***(2007)****. The 'Commons' versus the 'Commodity': Alter-Globalization, Anti-Privatization, and the Human Right to Water in the Global South. Antipode, Vol. 39, Issue 3: 430-455*

Barrett G. ***(2004)****. Water Conservation: The Role Of Price And Regulation In Residential Water Consumption. Economic Papers, The Economic Society of Australia, vol. 23(3): 271-285*

Bartram J., Cairncross S. ***(2010)****. Hygiene, Sanitation, and Water: Forgotten Foundations of Health. PLoS Med 7(11): e1000367. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000367*

Batty M. ***(2018****). ‘‘Digital twins,’’ Environ. Planning B, Urban Anal. City Sci., vol. 45:817–820*

Bauer C. J. ***(2004)****. Results of Chilean water markets: Empirical research since 1990, Water Resour. Res., 40, W09S06, doi:10.1029/2003WR002838*

Beatty P. T. ***(1981)****. The concept of need: Proposal for a working definition, Journal of the Community Development Society, 12(2): 39-46, DOI: 10.1080/15575330.1981.9987132*

Benjamin S. G., Weygandt S. S., Brown J. M., Hu M., Alexander C. R., Smirnova T. G., Olson J. B., James E. P., Dowell D. C., Grell G. A., Lin H., Peckham S. E., Smith T. L., Moninger W. R., Kenyon J. S., and Manikin G. S. ***(2016)****. A north American hourly assimilation and model forecast cycle: The rapid refresh. Monthly Weather Rev., vol. 144(4):1669–1694*

Bithas K, ***(2008)****. The sustainable residential water use: Sustainability, efficiency and social equity. The European experience,Ecological Economics, vol. 68(1–2):221-229, ISSN 0921-8009, https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.02.021.*

Bjornlund, Henning and McKay, Jennifer. ***(2002)****. Aspects of water markets for developing countries: experiences from Australia, Chile, and the US, Environment and Development Economics, 7, issue 4: 769-795*

Blochwitz T., Otter M., Arnold M., Bausch C., Elmqvist H., Junghanns A., Mauß J., Monteiro M., Neidhold T., and Neumerkel D. ***(2011)****. The functional mockup interface for tool independent exchange of simulation models. in Proc. 8th Int. Modelica Conf., no. 63. Dresden, Germany: Linköping Univ. Electronic Press, pp. 105–114.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Blumm M., Wood M.C. ***(2013)****. The Public Trust Doctrine in Environmental and Natural Resources Law; Carolina Academic Press: Durham, NC, USA*

*Bohm P. (****1987****). Social Efficiency: A Concise Introduction to Welfare Economics, 2nd ed.; Macmillan Education Ltd.: London, UK*

Boland, John & Whittington, Dale. ***(1997)****. Water tariff design in developing countries: disadvantages of increasing block tariffs (IBTs) and advantages of uniform price with rebate (UPR) designs.*

Borangiu T., Trentesaux D., Thomas A., Leitào P., and Barata J. ***(2019)****. Digital transformation of manufacturing through cloud services and resource virtualization. Comput. Ind., vol. 108:150–162*

Boulding K.E. ***(1966)****.Economic Analysis: Volume II: Microeconomics; Harper and Row: New York, USA*

Bruynseels K., de Sio F. S., and van den Hoven J. ***(2018)****. Digital twins in health care: Ethical implications of an emerging engineering paradigm. Frontiers Genet., vol. 9: 31*

Carr J. A., D'Odorico P., Laio F., and Ridolfi L. ***(2012)****. On the temporal variability of the virtual water network, Geophys. Res. Lett., 39, L06404, doi:10.1029/2012GL051247*

Chambers R. ***(1987)****. Irrigation against rural poverty. in J.S. Kanwar (ed) Water Management, The Key to Developing Agriculture,725–759. New Delhi: Agricole Publishing Academy for the Indian National Science Academy*

Chan N. ***(2012)****. Urban water pricing: Equity and affordability. Global Water Forum*

Chang, Ha-Joon. ***(2009)****. Rethinking public policy in agriculture: Lessons from history, distant and recent. Journal of Peasant Studies - J PEASANT STUD. 36:477-515. 10.1080/03066150903142741.*

Chen Dajun. ***(2018)****. Hydraulic Engineering Intelligence and Lean Management [J], Engineering Technology Study, 01: 177-178*

Chinesta F., Cueto E., Abisset-Chavanne E., Duval J.L., & Khaldi F.E. ***(2018)****. Virtual, Digital and Hybrid Twins: A New Paradigm in Data-Based Engineering and Engineered Data. Archives of Computational Methods in Engineering, 27:105-134*

Chong H., Sunding D. ***(2006)****. Water Markets and Trading.. Annual Review of Environment and Resources vol. 31(1): 239-264*

Clarke R. ***(1991)****. Water: The International Crisis (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315070261*

Cooper, Robert C. ***(1991)****. Water Science and Technology. London, vol. 24(9): 55-65*

De Buck, Emmy & Borra, Vere & De Weerdt, Elfi & Vande veegaete, Axel & Vandekerckhove, Philippe. ***(2015)****. A Systematic Review of the Amount of Water per Person per Day Needed to Prevent Morbidity and Mortality in (Post-)Disaster Settings. PLOS ONE. 10. e0126395. 10.1371/journal.pone.0126395.*

*De Vries P., Midden C., and Bouwhuis D. (****2003)*** *The effects of errors on system trust, self-confidence, and the allocation of control in route planning. Int. J. Hum.-Comput. Stud., vol. 58(6):719–735*

Dearden A., Harrison M., and Wright P. ***(2000).*** *Allocation of function: Scenarios, context and the economics of effort, Int. J. Hum.-Comput. Stud., vol. 52(2): 289–318*

Debaere, P.M., Richter, B.D., Davis, K.F., Duvall, M.S., Gephart, J.A., O'Bannon, C.E., Pelnik, C., Powell, E.M., & Smith, T.J. ***(2014)*** *Water markets as a response to scarcity. Water Policy, 16:625-649*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

*Diana Day. **(1996)**. Water as a Social Good, Australian Journal of Environmental Management, 3:1, 26-41, DOI: 10.1080/14486563.1996.10648341*

*Díaz, Sarai & Gonzalez, Javier & Mínguez, Roberto. **(2015)**. Observability Analysis in Water Transport Networks: Algebraic Approach. Journal of Water Resources Planning and Management. 142. 04015071. 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000621.*

*Dommen E. **(1993)**. The four principles for environmental policy and sustainable development: an overview. In E Dommen (ed.) Fair Principles for Sustainable Development: Essays on Environmental Policy and Developing Countries, Edward Elgar, Aldershot, Hants, pp. 7–32*

*Donoso G. **(2012)**.The evolution of water markets in Chile. In Water Trading and Global Water Scarcity: International Experiences; Maestu, J., Ed.; Routledge: London, UK; pp. 111–129*

*DeBono E. **(1978).** When opportunity knocks, Management Today, pp. 102-105*

*E.U. Directive **(2000)** 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council; EU: Brussels, Belgium,. Available online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060&rid=2*

*Easter W.K., Becker N., Tsur Y. **(1997)**. Economic mechanisms for managing water resources: Pricing, permits and markets. In Water Resources: Environmental Planning, Management and Development; Biswas, A.K., Ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA*

*Endo, Takahiro & Kakinuma, Kaoru & Yoshikawa, Sayaka & Kanae, Shinjiro. **(2018)**. Are water markets globally applicable?. Environmental Research Letters. 13. 10.1088/1748-9326/aaac08*

*European Commission, Joint Research Centre, Balié J., Boulanger P., Mainar Causapé A., et al. **(2018)**. Policy options to support the agriculture sector growth and transformation strategy in Kenya : a CGE analysis, Publications Office, https://data.europa.eu/doi/10.2760/109614*

*Faber M., Manstetten R., Müller G. **(1994)**. Interdisziplinäre Umweltforschung aus ökonomischer Sicht. Naturwissenschaften 81: 193–199*

*Faber, Malte & Manstetten, Reiner & Baumgärtner, Stefan & Becker, Chr. **(2006)**. Relative and absolute scarcity of nature. Ecological Economics. 59: 487–498. 10.1016/j.ecolecon.2005.11.012.*

*Falkenmark M. & Lindh G. **(1974)**. How can we cope with the water resource situation by the year 2050? Ambio 3, 114–122*

*Falkenmark M. & Rockstrom J. (**2006).** The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 132(3): 129–132*

*Falkenmark M. **(1995)**. Land-Water Linkages: A Synopsis. In: Mather, T., Ed., Land and Water Bulletin: Land and Water Integration and River Basin Management, Vol. 1, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, pp. 15-16*

*Falkenmark M. **(2020)** Water resilience and human life support - global outlook for the next half century, International Journal of Water Resources Development, 36(2-3): 377-396, DOI: 10.1080/07900627.2019.1693983*

*Falkenmark M. and Lannerstad M. **(2010)**. Food security in water-short countries – Coping with carrying capacity overshoot. L. Martinez-Cortina et al. (eds.) Re-thinking Water and Food Security: Fourth Botin Foundation Water Workshop. CRC Press/Taylor & Francis. pp. 3-22.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Falkenmark M., Rockström J. ***(2006)****. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. J. Water Resour. Plan. Manag, 132: 129–132*

*Fang L. (****2018****). Existing Problems and Countermeasures of Flood Control and Drought Relief in the New Period[J], Heilongjiang Water Conservancy Technology, 46(05): 219-221*

FAO. ***(2000)****. Method Used to Compute Water Resources by Country;. Available online: http://www.fao.org/3/y4473e/y4473e07.htm FAO: Rome, Italy*

FAO. ***(2012)****. Energy-Smart Food at FAO: An Overview; FAO: Rome, Italy*

*FAO. (****2020****). The State of Agricultural Commodity Markets and Sustainable Development: Global Value Chains, Smallholder Farmers and Digital Innovations; FAO: Rome, Italy*

Fernández-Ruiz I. ***(2018)****. Computer modelling to personalize bioengineered heart valves. Nature Rev. Cardiol., vol. 15(8): 440–441*

Ferrara I, ***(2008)****. Residential Water Use. OECD Journal: General Papers, OECD Publishing, vol. 2008(2): 153-180*

Frank R.M. ***(2012)****. The Public Trust Doctrine: Assessing Its Recent Past and Charting Its. Future. 45 UC Davis Law Review 665: 679–680*

Frierson, Dargan & Hwang, Yen-Ting & Fuckar, Neven & Seager, Richard & Kang, Sarah & Donohoe, Aaron & Maroon, Elizabeth & Liu, Xiaojuan & Battisti, David. ***(2013)****. Contribution of ocean overturning circulation to tropical rainfall peak in the Northern Hemisphere. Nature Geoscience. 6:940-944. 10.1038/ngeo1987*

Fusco, Francesco & Arandia, Ernesto. ***(2017)****. State Estimation for Water Distribution Networks in the Presence of Control Devices with Switching Behavior. Procedia Engineering. 186. 592-600. 10.1016/j.proeng.2017.03.275.*

García-Valiñas M.A., Martínez-Espiñeira R., González-Gómez F. ***(2010)*** *. Affordability of residential water tariffs: alternative measurement and explanatory factors in southern Spain. J Environ Manage. Dec;91(12):2696-706. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.07.029. Epub 2010 Aug 14. PMID: 20709443.*

Garfinkel J. ***(2018).*** *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. Available: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/*

Gaudin S., Griffin R.C., & Sickles R.C. ***(2001)****. Demand Specification for Municipal Water Management: Evaluation of the Stone-Geary Form. Land Economics, 77:399 - 422*

Gaudin, Sylvestre. ***(2006)****. Effect of Price Information on Residential Water Demand. Applied Economics. 38: 383-393. 10.1080/00036840500397499.*

Gerbert P., Lorenz M., Rußmann M., Waldner M., Justus J., Engel P., and Harnisch M. ***(2015)****. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston, MA, USA: The Boston Consulting Group*

Gleick P. H. ***(1998)****. The human right to water, Water Policy, Vol. 1(5): 487-503, ISSN 1366-7017, https://doi.org/10.1016/S1366-7017(99)00008-2*

Gleick P. H. ***(1993)****. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources, Oxford University Press, New York.*

Gleick P.H. ***(1996)****. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. Water International, 21: 83-92*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Guzmán D.A., Mohor G.S., & Mendiondo E.M. ***(2020)****. Multi-Year Index-Based Insurance for Adapting Water Utility Companies to Hydrological Drought: Case Study of a Water Supply System of the Sao Paulo Metropolitan Region, Brazil. Water.*

Hamilton K. & Hepburn C. ***(2014)****. Wealth. Oxford Review of Economic Policy, vol. 30(1): 1–20.*

Hamlin C. ***(2000)****. Waters or water? Master narratives in water history and their implications for contemporary water policy. Water Policy. Vol. 2: 313–325*

Hanjra M. A., Blackwell J., Carr G., Zhang F., Jackson T. M., ***(2012)****. Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy, International Journal of Hygiene and Environmental Health, Vol. 215(3): 255-269, ISSN 1438-4639, https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.10.003.*

Hao Y. ***(2015)****. A scalable cloud for Internet of Things in smart cities. J. Comput., vol. 26(3):1–13*

Hashimzade N., Myles G., and Black J. ***(2017)****. Impure Public Good. In A Dictionary of Economics. Oxford University Press.*

Herrera M., Ayala-Cabrera D., Izquierdo J., Montalvo. I, ***(2017)****. Smart Data Analysis for Smart Water Networks. In Proceedings of the Congress on Numerical Methods in Engineering—CMN 2017, Valencia, Spain, 3–5: 1665–1677*

Herrera M., García-Díaz J., Izquierdo J., Pérez-García R., ***(2011)****. Municipal Water Demand Forecasting: Tools for Intervention Time Series. Stoch. Anal. Appl., 29: 998–1007*

*Hicks B. (****2019****). Industry 4.0 and Digital Twins: Key Lessons From NASA. Available: https://www.thefuturefactory.com/blog/24*

Hoffman R. N. and Atlas R. ***(2016)****. Future observing system simulation experiments. Bull. Amer. Meteor. Soc., vol. 97(9):1601–1616*

Holden P., Thobani M., ***(1996)****. Tradable Water Rights: A Property Rights Approach to Resolving Water Shortages and Promoting Investment; World Bank: Washington, DC, USA*

Holz K-P., Cunge J.A., Lehfeldt R., Savic D. ***(2012)****. Hydroinformatics Vision 2011; Advances in Hydroinformatics: SIMHYDRO 2012—New Frontiers of Simulation; Springer: Singapore, pp. 545–560.*

Howe C.W., Linaweaver F.P., Jr. ***(1967)****. The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. Water Resour. Res; 3:13–32*

http://ron-griffin.tamu.edu/x677/readings/younghaveman1985.pdf

Hulbert B., Brown R.B., Adams S. ***(1997)****. Towards an understanding of 'opportunity'. Mark. Educ. Rev., 7: 67–73*

Hung M.F., Chie B.T. ***(2013)****. Residential water use: Efficiency, affordability, and price elasticity. Water Resour. Manag., 27:275–291*

Hunter PR, MacDonald AM, Carter RC. ***(2010)****. Water Supply and Health. PLoS Med 7(11): e1000361. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000361*

Hurwicz L. ***(1987)****. Inventing new institutions: The design perspective,. American Journal of Agricultural Economics., 69(2): 395–402*

Hussein M.A. ***(2011)****. Impacts of Water Scarcity on the Social Welfare of Citizens in the Middle East. In Pathways to Sustainability Vol 1: 20–24, Middle East Institute: Washington, DC, USA*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Hussien W.A., Memon F.A. ***(2016)****. Assessing and Modelling the Influence of Household Characteristics on Per Capita Water Consumption Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved., 30: 2931–2955, Water Resour. Manag.*

ICWE. ***(1992).*** *The Dublin Statement on Water and Sustainable Development. In Proceedings of the ICWE (International Conference on Water and the Environment), Dublin, Ireland, p. 55*

Ipe V.C., Bhagwat S.B. ***(2002)****. Chicago's water market: Dynamics of demand, prices and scarcity rents. Appl. Econ, 34:2157–2163*

Jimenez J. I., Jahankhani H., and Kendzierskyj S. ***(2020)****. Health care in the cyberspace: Medical cyber-physical system and digital twin challenges. In Digital Twin Technologies and Smart Cities. Cham, Switzerland: Springer, pp. 79–92*

Joo H., Mohamad K., and Sapsis T. P. ***(2017)****. Extreme events and their optimal mitigation in nonlinear structural systems excited by stochastic loads: Application to ocean engineering systems," Ocean Eng, vol. 142: 145–160*

Kahneman D., Thaler R.H. ***(2006)****. Anomalies: Utility maximization and experienced utility. J. Econ. Perspect., vol. 20:221–234*

Kameri-Mbote P. ***(2007)****. Public Trust doctrine in environmental law. Law Environ. Dev. J., vol. 3: 11*

Kaul I., Mendoza R.U. ***(2003)****. Advancing the Concept of Public Goods. In Providing Global Public Goods; Kaul, I., Conceição, P., Goulven, K.L., Mendoza, R.U., Eds.; Oxford University Press: Oxford, UK*

Kent L., Snider C., and Hicks B. ***(2019)****. Early-stage digital-physical twinning to engage citizens with city planning and design. in Proc. IEEE Conf. Virtual Reality 3D User Inter. (VR), pp. 1014–1015*

Khan, Nawab, Ram L. Ray, Ghulam Raza Sargani, Muhammad Ihtisham, Muhammad Khayyam, and Sohaib Ismail. ***(2021)****. Current Progress and Future Prospects of Agriculture Technology: Gateway to Sustainable Agriculture. Sustainability vol. 13(9): 4883. https://doi.org/10.3390/su13094883*

Kiang H. C. ***(2016)****. 50 Years Of Urban Planning In Singapore (World Scientific Singapore's 50 Years of Nation-Building)*

Knapp G., Mukherjee T., Zuback J.S., Wei H.L., Palmer T.A., De A., & DebRoy T. ***(2017)****. Building blocks for a digital twin of additive manufacturing. Acta Materialia, 135: 390-399*

Kocabas O., Soyata T., and Aktas M. K. ***(2016)****. Emerging security mechanisms for medical cyber physical systems. IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinf., vol. 13(3):401–416*

Koutsoyiannis D. ***(2020)*** *Revisiting the global hydrological cycle: Is it intensifying? Hydrol. Earth Syst. Sci., 24: 3899–393*

Krane-Gartiser K., Asheim A., Fasmer O. B, Morken G., Vaaler A., and Scott J. ***(2018)****. Actigraphy as an objective intra-individual marker of activity patterns in acute-phase bipolar disorder: A case series. Int. J. Bipolar Disorders, vol. 6:8*

Laaki H., Miché Y., & Tammi K. ***(2019)****. Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control Over Mobile Networks: Application of Remote Surgery. IEEE Access, 7:20325-20336*

Latré B., Braem B., Moerman I., Blondia C., and Demeester P. ***(2011)****. A survey on wireless body area networks" Wireless Netw., vol. 17(1): 1–18*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Lazarovitch N., Vanderborght J., Jin Y. The Root Zone: Soil Physics and Beyond. Vadose Zo. J., 17, 1–7. [CrossRef] ***2018***

Lazarus R.J. ***(1986)****. Changing conceptions of property and sovereignty in natural resources: Questioning the public trust doctrine. Iowa Law Rev., 71:631–716*

Leagans J.P. ***(1964)*** *Concept of Needs. J. Ext., 2:89–96*

Leamer E.E. ***(1995)*** *The Heckser-Olin Model in Theory and Practice; Princeton Studies in International Finance: Princeton, NJ, USA*

Lee I., Sokolsky O., Chen S., Hatcliff J., Jee E., Kim B., King A., Mullen-Fortino M., Park S., and Roederer A., ***(2012)****. Challenges and research directions in medical cyber–physical systems. Proc. IEEE, vol. 100(1): 75–90*

Lee J., Bagheri B., and Kao H.-A. ***(2015)****. A cyber-physical systemsarchitecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Manuf. Lett., vol. 3: 18–23*

Lee P. Breckenridge. ***(2005)****. Can fish own water? Envisioning non human property in ecosystems, Journal of Land Use & Environmental Law. Florida State University College of Law. vol. 20(2): 293-331*

Li Mingyuan. ***(2018)*** *Hydraulic Engineering Management Operation Status and Coping Strategy[J], Shandong Water Conservancy, (08): 56-57*

Linton J. ***(2010)*** *What is Water? A History of a Modern Abstraction. University of British Columbia Press, Vancouver.*

Loehman, E., Dinar A. ***(1992)****. Cooperative Technology Solutions to Externality Problems: The Case of Irrigation Water; University of California, Davis, Department of Agricultural and Resource Economics: Davis, CA, USA*

Ma H., Hu Y., & Shi H. ***(2013)****. Fault Detection and Identification Based on the Neighborhood Standardized Local Outlier Factor Method. Industrial & Engineering Chemistry Research, 52: 2389-2402*

Ma, Zhengjing & Mei, Gang & Prezioso, Edoardo & Zhang, Zhongjian & Xu, Nengxiong. ***(2021)****. A Deep Learning Approach Using Graph Convolutional Networks for Slope Deformation Prediction Based on Time-series Displacement Data. Neural Computing and Applications. 33. 100083. 10.1007/s00521-021-06084-6*

Maier-Rigaud Frank & Apesteguia Jose. ***(2004)****. The Role of Rivalry Public Goods Versus Common-Pool Resources. Max Planck Institute for Research on Collective Goods, Working Paper Series of the Max Planck Institute for Research on Collective Goods. 50. 10.1177/0022002706290433*

Makropoulos Christos & Savic Dragan. ***(2019)****. Urban Hydroinformatics: Past, Present and Future. Water. 11. 1959. 10.3390/w11101959*

Malmberg B. ***(2008)****. Demography and the Development Potential of Sub-Saharan Africa; Nordiska Afrikainstitutet: Uppsala, Sweden*

Mansur E.T., Olmstead S.M. ***(2012)****. The value of scarce water: Measuring the inefficiency of municipal regulations. J. Urban. Econ., 71:332–346*

Martinez-Espiñeira R., ***(2002)****. Residential Water Demand in the Northwest of Spain. Environmental & Resource Economics, Springer;European Association of Environmental and Resource Economists, vol. 21(2):161-187*

Martínez-Espiñeira R., Nauges C. ***(2004)****. Is all domestic water consumption sensitive to price control? Appl. Econ., 36:1697–1703*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Mateo-Sagasta J., Zadeh S.M., Turral H. ***(2017)****. Water Pollution from Agriculture: A Global Review; FAO: Rome, Italy. Available online: http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf*

Mazzanti M. & Montini A. ***(2005)****. The Determinants of residential water demand, empirical evidence for a panel of Italian municipalities. Natural Resources Management.*

McDonald R.I., Weber K.F., Padowski J., Boucher T., Shemie D. ***(2016)****. Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 113:9117–9122*

Mehmet Akebail ***(2015).*** *Discussion on Problems and Countermeasures of Hydraulic Engineering Operation Management[J], Jilin Water Conservancy, 52-53+62*

Merchant C. ***(1997)****. Fish first! The changing ethics of ecosystem management. Human Ecology Review 4:25–30*

Michelsen, Ari & Booker, James & Howitt, Richard & YOUNG, ROBERT. ***(2012)****. Booker, J.F., R.E. Howitt, A.M. Michelsen and R.A. Young. 2012. Economics and the Modeling of Water Resources and Policies. Natural Resource Modeling Journal. 25th Anniversary Special Issue. 25(1): 168-218.. Natural Resource Modeling. 25. 168-218. 10.1111/j.1939-7445.2011.00105.x.*

Mishan E.J. ***(1981)****. An Introduction to Normative Economics; Oxford University Press: Oxford, UK*

*Moench M. (****2002****). Water and the potential for social instability: livelihood migration and the building of society. Natural Resources Forum 26:195–204*

Mohamed N., Al-Jaroodi J., and Lazarova-Molnar S. ***(2019)****. Leveraging the capabilities of industry 4.0 for improving energy efficiency in smart factories. IEEE Access, vol. 7:18008–18020*

*Mohammadi N. and Taylor J. E. (****2017****). Smart city digital twins. in Proc. IEEE Symp. Ser. Comput. Intell. (SSCI), pp. 1–5*

*Molle F. & Berkoff, J. (****2007****). Water pricing in irrigation, mapping the debate in light of experience. In: Irrigation Water Pricing: The Gap Between Theory and Practice. Molle, F. & Berkoff, J. (eds). CABI Publications, Wallingford, UK*

Molle F. & Berkoff J. ***(2007)****. Water pricing in irrigation: Mapping the debate in the light of experience. In Irrigation Water Pricing: The Gap Between Theory and Practice; Molle, F., Berkoff, J., Eds.; CAB International: Wallingford, UK; pp. 21–93*

Monteiro dos Santos F. A., Coelho-Junior M. G., Chaves Cardoso J., Basso V. M., de Paula Marques A. L., & Ribeiro da Silva E. M. ***(2020)****. Program Outcomes of Payments for Watershed Services in Brazilian Atlantic Forest: How to Evaluate to Improve Decision-Making and the Socio-Environmental Benefits. Water, 12(9):2441.*

Mor Barak M.E. ***(2020)****. The Practice and Science of Social Good: Emerging Paths to Positive Social Impact. Research on Social Work Practice, 30:139 - 150*

Morgan A.J., Orr S. ***(2015)****. The value of water: A Framework for Understanding Water Valuation, Risk and Stewardship. Available online: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/the_value_of_water_discussion_draft_final_august_2015.pdf*

Mukherjee T. & Debroy T. ***(2019)****. A digital twin for rapid qualification of 3D printed metallic components. Appl. Mater. Today, vol. 14:59–65*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. ***(2017)****. A New Vision for Center-Based Engineering Research. Washington, DC: The National Academies Press. doi: https://doi.org/10.17226/24767.*

*Nauges C. και Thomas A. (****2000****). Privately operated water utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: the case of France' Land Economics, 76:68 – 85*

Nieswiadomy M. και Molina D. ***(1989)****. Comparing residential water demand estimates under decreasing and increasing block rates using household data. Land Economics, 65:280 – 289.*

Nirmal Chandra Sahu, Bibhudatta Nayak. ***(1994)****. Niche diversification in environmental/ecological economics, Ecological Economics, Vol. 11(1):9-19, ISSN 0921-8009, https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90045-0*

Nipen T., Seierstad I., Lussana C., and Kristiansen J., ''Private observations improve MET Norway's operational weather forecasts,'' in Proc. 99th Annu. Meeting Amer. Meteorol. Soc., pp. 6–10, Jan. ***2019***

O'Sullivan E. ***(2016).*** *A Review of International Approaches to Center-Based, Multidisciplinary Engineering Research. A commissioned paper for this study, available at https://www.nae.edu/Projects/147474.aspx.*

OECD. ***(1987)****. Pricing of Water Services; OECD: Paris, France*

OECD. ***(2017)****. Water Charges in Brazil The Ways Forward; OECD Studies on Water; OECD: Paris, France*

Opaluch J.J. ***(1984)****. A Test of Consumer Demand Response to Water Prices: Reply. Land Econ. 60*

Oracle. ***(2016)****. Digital Twins for IoT Applications: A Comprehensive Approach to Implementing IoT Digital Twins. Available: http://www.oracle.com/us/solutions/internetofthings/digitaltwins-for-iot-apps-wp-3491953.pdf*

Oran E. S., Kaplan C. R., Kailasanath K., and Boris J. P. ***(2009)****. The Computational Man: A Predictive Dynamic Model of Human Physiology. Washington, DC, USA: Naval Research Lab*

Pérard E. ***(2009)****. Water supply: Public or private? An approach based on cost of funds, transaction costs, efficiency and political costs. Policy Soc. 27:193–219*

Perlo-Freeman S., Webber D.J. ***(2009)****. Basic Needs, Government Debt and Economic Growth. World Eco., 32:965–994*

Perry C., Rock M., Seckler D. ***(1997)****. Water as an Economic Good: A Solution, or a Problem? International Irrigation Management Institute: Colombo, Sri Lanka*

Peteraf M.A. ***(1993)****. The Cornerstones of Competitive Advantage: A Resource-Based View. Strateg. Manag. J., 14:179–191*

Peteraf M.A., Bergen, M.E. ***(2003)****. Scanning dynamic competitive landscapes: A market-based and resource-based framework. Strateg. Manag. J., 24:1027–1041*

Pfister S., Koehler A., Hellweg S. ***(2009)****. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. Environ. Sci. Technol., 43:4098–4104*

Plappally A.K., Lienhard J.H. ***(2013)****. Costs for water supply, treatment, end-use and reclamation. Desalin. Water Treat., 51:200–232*

Plessis W.D., Kotze L.J. ***(2007)****. Absolving historical polluters from liability through restrictive judicial interpretation: Some thoughts on Bareki NO v Gencor Ltd. Stellenbosch Law Rev, 18:161–193*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

*Porter M. **(1990)**. The Competitive Advantage of Nations. Harv. Bus. Rev., 21. Available online: https://hbr.org/1990/03/the-competitive-advantage-of-nations*

*Postel S. **(1997).** The Last Oasis, 2nd edition. Norton, NY & London*

*Price C., Maor R., Shachaf H. **(2018)**. Using smartphones for monitoring atmospheric tides. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 174: 1-4, ISSN 1364-6826, https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.04.015.*

*Privé N. C., Errico R. M., and Tai K.-S. **(2013)**. Validation of the forecast skill of the Global Modeling and Assimilation Office Observing System Simulation Experiment. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., vol. 139(674):1354–1363*

*Regalia J. **(2019)**. A New Water Law Vista: Rooting the Public Trust Doctrine in the Courts. Kentucky Law J., 108:45*

*Renwick M., Archibald S. **(1998)**. Demand side management policies for residential water use: who bears the conservation burden? Land Economics, 74:343 – 359*

*Richardson J. **(2016)**. Who Owns the Water: A Summary of Existing Water Rights Laws; Water Systems Council: Washington, DC, USA*

*Rogers P., De Silva R., Bhatia R. **(2002)**. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. Water Policy, 4:1–17*

*Rogers P., Bhatia R., Huber A. **(1998)**. Water as a an Economic Good: How to Put the Principle into Practice; Global Water Partnership: Stockholm, Sweden*

*Ronda R. J., Steeneveld G. J., Heusinkveld B. G., Attema J. J., and Holtslag A. A. M. **(2017)**. Urban finescale forecasting reveals weather conditions with unprecedented detail. Bull. Amer. Meteor. Soc., vol. 98(12): 2675–2688*

*Roth E. **(2001)**. Water Pricing in the EU, A review, EBB*

*Rozos E. **(2021)**. Machine learning, urban water resources management and operating policy. Resources 2019, 8:173*

*Ruijs A., Zimmermann A., van den Berg M. **(2008)**. Demand and distributional effects of water pricing policies. Ecol. Econ, 66:506–516*

*Sabir A., Abbasi N. A., and Islam N. **(2018)**. An electronic data management and analysis application for abet accreditation. arXiv:1901.05845. Available: https://arxiv.org/abs/1901.05845*

*Sagarin R.D., Turnipseed M. **(2012)**. The public trust doctrine: Where ecology meets natural resources management. Annu. Rev. Environ. Resour., 37:473–496*

*Samuelson P.A. **(1954)** The Pure Theory of Public Expenditure. Rev. Econ. Stat, 36:387–389*

*Samuelson P.A. **(1955)** Economics: An Introductory Analysis; McGraw-Hill Book Company, Inc.: New York, NY, USA*

*Sandler T. **(2003).** Assessing the Optimal Provision of Public Goods: In Search of the Holy Grail. In Providing Global Public Goods; Kaul, I., Conceição, P., Goulven, K.L., Mendoza, R.U., Eds.; Oxford University Press: Oxford, UK*

*Savenije H.H., Van Der Zaag P. **(2002)**. Water as an economic good and demand management paradigms with pitfalls. Water Int;27:98–104. doi: 10.1080/02508060208686982*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

*Savenije H.H.G. (**2002**). Why water is not an ordinary economic good, or why the girl is special. Phys. Chem. Earth, 27:741–744*

*Sayan S. **(2009)**. H-O for H2O: Can the Heckscher-Ohlin Framework Explain the Role of Free Trade in Distributing Scarce Water Resources Around the Middle East? Rev. Middle East Econ. Financ., 1:21–36*

*Schluse M., Priggemeyer M., Atorf L., and Rossmann J. **(2018)**. Experimentable digital twins—Streamlining simulation-based systems engineering for industry 4.0. IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 14(4): 1722–1731*

*Schwabe, Kurt & Nemati, Mehdi & Landry, & Zimmerman,. **(2020)**. Water Markets in the Western United States: Trends and Opportunities. Water. 12. 233. 10.3390/w12010233*

*Scott J. **(2014)**. A Dictionary of Sociology; Oxford University Press: Oxford, UK*

*Seyam I.M.; Hoekstra, A.Y. **(2003).** The Water Value-Flow Concept. Phys. Chem. Earth, 28:175–182*

*Sheridan T., ‘‘Function allocation: Algorithm, alchemy or apostasy?’’ Int. J. Hum.-Comput. Stud., vol. 52, no. 2, pp. 203–216, Feb. 2000. Stud., vol. 119, pp. 35–47, Nov. **2018***

*Sheridan T., Vámos T., and Aida S. **(1983)**. Adapting automation to man, culture and society. Automatica, vol. 19(6): 605–612*

*Shiklomanov I. A. **(1993)**. World fresh water resources. In: Water in Crisis: A Guide to the World’s Freshwater Resources. Glieck, P. (ed.). Oxford University Press, Oxford*

*Shin J.S. (**1985**). Perception of price when price information is costly: Evidence from residential electricity demand. Rev. Econ. Stat:591–598*

*Shubik M., & Debreu G. **(1961)**. Theory of Value: An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium , by Gerard Debreu (New York: John Wiley & Sons, Inc.; London: Chapman & Hall, Ltd., 1959, pp. xii, 114). The Canadian Journal of Economics and Political Science, 27, 133-133.*

*Skardal A., Shupe T., and Atala A. **(2016).** Organoid-on-a-chip and body-on-a-chip systems for drug screening and disease modeling. Drug Discovery Today, vol. 21(9): 1399–1411*

*Simate G.S., Iyuke S.E., Ndlovu S., Heydenrych M., Walubita L.F. **(2012)**. Human health effects of residual carbon nanotubes and traditional water treatment chemicals in drinking water. Environ. Int., 39:38–49*

*Smith A. **(2018)**. The Wealth of Nations (1776); CreateSpace Independent Publishing Platform: Scotts Valley, CA, USA*

*Smith, M.D., Jr. **(2016)**. A Blast From The Past: The Public Trust Doctrine. Environ. Law, vol. 46(3):461–480*

*Sood A., Prathapar S., Smakhtin V. **(2014)**. Green and Blue Water. In Key Concepts in Water Resource Management: A Review and Critical*

*Sood A., Prathapar, S., Smakhtin V. **(2014)**. Green and Blue Water. In Key Concepts in Water Resource Management: A Review and Critical Evaluation; Lautze, J., Ed.; Routledge: Milton Park, UK; ISBN 9780415711739*

*Stoker P., Rothfeder R. **(2014)**. Drivers of urban water use. Sustain. Cities Soc, 12:1–8*

*Sukharev O, **(2012)**. Institutes Of Social Development And Their Efficiency Estimation. Montenegrin Journal of Economics, Economic Laboratory for Transition Research (ELIT), vol. 8(2):125-150*

Tao FEi, Liu Weiran, Liu Jianhua, Liu Xiaojun, Liu Qiang, Qu Ting, Hu Tianliang, Zhang Zhinan, Xiang Feng, Xu Wenjun, Wang Junqiang, Zhang Yingfeng, Liu Zhenyu, Li Hao, Chen Jiangfeng, Qi Qinglin, Zhang Meng, Zhang

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

He, Sui Fangyuan, He Lirong, Yi Wangmin, and Chen Hui. ***(2018)****. Exploration on the Digital Twin and Application[J], Computer-Integrated Manufacturing System. 24(01): 1-18*

Taormina R., Galelli S., Tippenhauer N., Salomons E., Ostfeld A. ***(2017)****. Characterizing Cyber-Physical Attacks on Water Distribution Systems. J. Water Resour. Plan. Manag., 143, 04017009*

Thaler R. ***(1980).*** *Toward a positive theory of consumer choice. J. Econ. Behav. Organ., 1:39–60*

Thompson B.H. ***(2011)****. Water as a public commodity. Marquette Law Rev, 95:17–52*

Tisdell J.G. ***(2001).*** *The environmental impact of water markets: An Australian case-study. J. Environ. Manag., 62:113–120*

Tshehla K., Hamam Y., Abu-Mahfouz, A. ***(2017)****. State estimation in water distribution network: A review. In Proceedings of the 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Emden, Germany, 24–26 July; pp. 1247–1252*

Turner K., Georgiou S., Clark R., Brouwer R., Burke J. ***(2004)****. Economic Valuation of Water Resources in Agriculture: From the Sectoral to a Functional Perspective of Natural Resource Management. FAO Water Reports: Rome, Italy*

Turnipseed M., Roady S.E., Sagarin R., Crowder L.B. ***(2009)****. Silver anniversary of the united states' exclusive economic zone: Twentyfive years of ocean use and abuse, and the possibility of a blue water public trust doctrine. Ecol. Law Q, 36:1–70*

U.N. ***(1992)****. U.N. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. In United Nations Conference on Environment and Development Rio de Janeiro; U.N.: New York, NY, USA, Vol. 1:492*

U.N. ***(2019)****. United Nations Sustainable Development Goals, Goal 2: Zero Hunger; U.N.: New York, NY, USA*

Uddin M., Mekhilef S., Rivera M. ***(2015)****. Experimental validation of minimum cost function-based model predictive converter control with efficient reference tracking. IET Power Electron. 8:278–287*

UNRISD. ***(2005)****. Transformative Social Policy Lessons from UNRISD Research; UNRISD: Geneva, Switzerland*

UN-Water. ***(2017)****. The United Nations World Water Development Report 2017: Wastewater: An. Untapped Resource. United Nations; Paris, France*

Van Kamp I., Leidelmeijer K., Marsman G., De Hollander A. ***(2003)****. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. Landsc. Urban. Plan. 65:5–18*

Varian H.R. ***(1992)****. Microeconomic Analysis, 3rd ed.; W.W. Norton & Co; ISBN 0393957357. New York, NY, USA*

Vernon R. ***(1966)****. International Investment and International Trade in the Product Cycle. Q. J. Econ., 80:190–207*

Walsh J.E. ***(2013)****. Melting ice: What is happening to Arctic sea ice, and what does it mean for us? Oceanography, 26:171–181*

Wang H. et al. ***(2010)****. Water pricing with household surveys: A study of acceptability and willingness to pay in Chongqing, China. China Economic Review, 21:136–149*

Wang Hui, Luo Zhen, and Han Zhi. ***(2013)****. Brief Analysis on the Application of Automatic Monitoring System in Water Gate Operation Management[J], Technology Information, (10):406-407*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Wang Q., Yang Z. ***(2016)****. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. Environ. Pollut.;218:358–365*

Wang L., Liu Y., Yin H., & Sun W. ***(2022)****. Fault diagnosis and predictive maintenance for hydraulic system based on digital twin model. AIP Advances, 12(6), 065213*

Wanlong L. ***(2018)****. Comprehension on Reinforcing the Modernized Strategy of Hydraulic Engineering Management[J], Jushe (22): 195*

Weaver A.J., Sedlá ˇcek J., Eby M., Alexander K., Crespin E., Fichefet T., Philippon-Berthier G., Joos F., Kawamiy, M., Matsumoto K., et al. ***(2012)****. Stability of the Atlantic meridional overturning circulation: A model intercomparison. Geophys., 39,1–7*

Weiss E.B. ***(1989)****. In Fairness to Future Generations: International Law, Common Patrimony, and Intergenerational Equity (Innovation in International Law); Transnational Pub Inc.: Ardsley, NY, USA*

Westall F., Brack A. ***(2018)****. The Importance of Water for Life. Sp. Sci. Rev., 214:1–23*

White C. ***(2015)****. Understanding Water Markets: Public vs. Private Goods. Global Water Forum. Available online: https://globalwaterforum.org/2015/04/27/understanding-water-markets-public-vs-private-goods/*

WHO/SEARO. ***(2005)****. Minimum Water Quantity Needed for Domestic Uses. Available online: https://ec.europa.eu/echo/files/evaluation/watsan2005/annex_files/WHO/WHO5%20-%20Minimum%20water%20quantity%20needed%20for%20domestic%20use.pdf*

William C. Camp, Thomas B. Daugherty. ***(2004)****. Διαχείριση και προστασία φυσικών πόρων. μετάφραση Μαρία Ταλαντοπούλου, επιμέλεια Κοσμάς Παυλόπουλος.- 3η έκδ.- Περιστέρι: Ίων, 2004.-279 σ.*

Winpenny J. ***(1994)****. Managing Water as an Economic Resource. Routledge, London & New York*

Winpenny J. ***(1994).*** *Managing Water as an Economic Resource. Routledge, London, UK*

Wu H.T. ***(2008)****. Research on Assessment and Management of Green Water. China Popul. Resour. Environ., 18:61–67*

Wang X., Barker D. M., Snyder C., and Hamill T. M. ***(2008).*** *A hybrid ETKF– 3DVAR data assimilation scheme for the WRF model. Part I: Observing system simulation experiment. Monthly Weather Rev., vol. 136(12):5116–5131*

Yamamori T. ***(2016).*** *The concept of need in Adam Smith. Cambridge J. Econ., 41:327–347*

Young R.A. ***(1996)****. Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies; World Bank: Washington, DC, USA*

Young R.A., Haveman R.H. ***(1985)****. Economics of Water Resources: A Survey. In Handbook of Natural Resource and Energy Economics; Kneese, A.V., Sweeney, J.L., Eds.; North Holland: Amsterdam, The Netherlands,; Vol. 2:465–529. Available online:*

Yu H., Miao C., Leung C., & White T.J. ***(2017)****. Towards AI-powered personalization in MOOC learning. NPJ Science of Learning, 2.*

Zellmer S., Harder J. ***(2007)****. Unbundling Property in Water. Ala. L. Rev., 59:679*

Zhang B., Korolj A., Lai B. F. L., and Radisic M. ***(2018)****. Advances in organon-a-chip engineering. Nature Rev. Mater., vol. 3(8): 257–278*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Zhong R. Y., Xu X., Klotz E., and Newman S. T. ***(2017)****. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review. Engineering, vol. 3(5):616–630*

Zilberman D., Schoengold K. ***(2005)****. The Use of Pricing and Markets for Water Allocation. Can. Water Resour. J., 30:47–54*

Zisopoulou K., Panagoulia D. ***(2019)****. Solar Power: A new mathematical definition and theoretical proof it is a Green Public Good. Green Financ., 1:312–327*

Zisopoulou K., Panagoulia D. ***(2021)****. An In-Depth Analysis of Physical Blue and Green Water Scarcity in Agriculture in Terms of Causes and Events and Perceived Amenability to Economic Interpretation.*

Ανδρεάκη Μ. και Γκρατζιου Μ. ***(2005)****. Ζήτηση νερού και εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής σε δημοτική επιχείρηση ύδρευσης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.*

Αραμπατζής Γ. και Πολύζος Σ. ***(2008)****. Φυσικοί πόροι, περιβάλλον & ανάπτυξη, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.*

Βαγιωνά Δ. ***(2004)****. Διαχείριση της ζήτησης του νερού στο βιομηχανικό τομέα στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.*

Βασιλάκης Γ. ***(2021).*** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και της επιρροής της στις πιέσεις του δικτύου, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες. *Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Βασιλόπουλος Ι. ***(2017).*** *Εκτίμηση δυναμικού ενέργειας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Κοζάνης και εγκατάσταση μικρο-υδροτουρμπίνων για ανάκτηση ενέργειας και ρύθμιση πίεσης. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Βερίλλη Μ. ***(2018).*** *Ανάπτυξη Υδραυλικού Μοντέλου στο Δίκτυο "Ύδρευσης της πόλης της Καρδίτσας – Διαμόρφωση Στεγανών Υποζώνων (District Metered Areas-DMAs) βάσει Ηλικίας και Πίεσης – Μελέτη του Χρόνου Παραμονής Νερού στους Αγωγούς. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Βοϊβόντας Δ. Ασημακόπουλος Δ. ***(2002)****. Ανάκτηση κόστους και τιμολόγηση νερού στα πλαίσια της Οδηγίας 2000/60. Παρουσίαση στην Ημερίδα «2000/60 Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά-Εναρμόνιση με την ελληνική πραγματικότητα», Ε.Μ.Π., Αθήνα, Μάιος 2002*

Βολάνης Ε. ***(2018).*** *Πειραματική διάταξη/υδραυλικό προσομοίωμα δικτύου ύδρευσης-Ενεργειακή απόδοση αντλίας και επιρροή της λειτουργίας της στις πιέσεις του δικτύου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Ζαχαριουδάκης Α. ***(2018).*** *Πειραματική διάταξη/υδραυλικό προσομοίωμα δικτύου ύδρευσης-Ενεργειακή απόδοση αντλίας και επιρροή της λειτουργίας της στις πιέσεις του δικτύου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Θεοφιλόπουλος Γ. ***(2017).*** *Ψηφιοποίηση του εξωτερικού δικτύου ύδρευσης της Κοζάνης, εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του & ανάδειξη πιθανών σημείων εγκατάστασης υδροτουρμπινών για ανάκτηση ενέργειας. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Κορκανά Π. ***(2015)****. Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) σε δίκτυα ύδρευσης με χρήση γενετικών αλγορίθμων και ανάπτυξη πρωτότυπου κώδικα. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Κούρμπασης Ν. ***(2017).*** *Βελτιστοποίηση ποιότητας & πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με χρήση γενετικού αλγορίθμου & διαμόρφωση υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) - Η περίπτωση της Αιανής. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Κράββαρη Α. ***(2017).*** *Διερεύνηση της επίδρασης τεχνικών μείωσης πίεσης στην ποιότητα του νερού (συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου και ηλικία νερού) ύδρευσης. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Κυριακού Μ. ***(2007).*** *Διαχείριση υδατικών πόρων: Η κατανάλωση νερού για οικιακή χρήση στην πόλη της Λεμεσού. Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.*

Μαγούλα Μ-Α. ***(2018).*** *Τα αποτελέσματα της εφαρμογής τεχνικών ρύθμισης της πίεσης στην ηλικία του νερού. Η ενηλικίωση των DMAs. – Το δίκτυο ύδρευσης της Κοζάνης. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Ξυπνητός Ι. ***(2018).*** *Μελέτη συνολικής διαχείρισης ενός δικτύου διανομής νερού και συγκριτική έρευνα αναφορικά με τον εκσυγχρονισμό των ΔΕΥΑ. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Πατέλης Μ. ***(2013).*** *Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση στεγανών υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείριση της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Ρωμανάς Ι. ***(2017).*** *Υδραυλική προσομοίωση αστικών δικτύων ύδρευσης και μείωση της ηλικίας του παρεχόμενου νερού με χρήση τεχνικών ρύθμισης πίεσης – Η περίπτωση της Νέας Δημητριάδας Βόλου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Σπαχής Α. ***(2021).*** *Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και της επιρροής της στις πιέσεις του δικτύου, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. ***(2010)****. Κοστολόγηση και τιμολόγηση υπηρεσιών ύδατος στην Κύπρο. Κύπρος: Κυπριακή Δημοκρατία, Ευρωπαϊκή Ένωση. Διαθέσιμο εδώ: https://www.sbla.com.cy*

Τολιόπουλος Α. ***(2018).*** *Διερεύνηση της εγκατάστασης μηχανισμού PAT σε δίκτυα διανομής νερού προς ρύθμιση πίεσης και ανάκτηση ενέργειας – Προτάσεις πειραματικών διατάξεων. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τζιμίρης Α. ***(2021).*** *Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και της επιρροής της στις πιέσεις του δικτύου, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τσιμοπούλου Δ. ***(2018).*** *Τα αποτελέσματα της εφαρμογής τεχνικών μείωσης της ηλικίας του νερού των κόμβων με βάση την ενηλικίωση των αγωγών του δικτύου – Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Κοζάνης. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τσιόκανος Α. ***(2019).*** *Δίκτυα και Ποιότητα Υδάτων Υδρεύσεως: Ευρωπαϊκό και Εθνικό Θεσμικό Πλαίσιο, η Σύγχρονη Ελληνική Πραγματικότητα και η Μελέτη Περίπτωσης της Ηγουμενίτσας. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Φιλιός Α. ***(2010)****. Τεχνολογία προστασίας περιβάλλοντος. Εκδότης : Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Χατζηβασίλη Σ. ***(2018).*** *Χωρισμός δικτύου ύδρευσης σε DMA's με τη μέθοδο του Γεωμετρικού Διαχωρισμού και Βελτιστοποίηση της πίεσης και της ηλικίας του νερού μέσω της Μικτής Γκαουσιανής Κατανομής. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

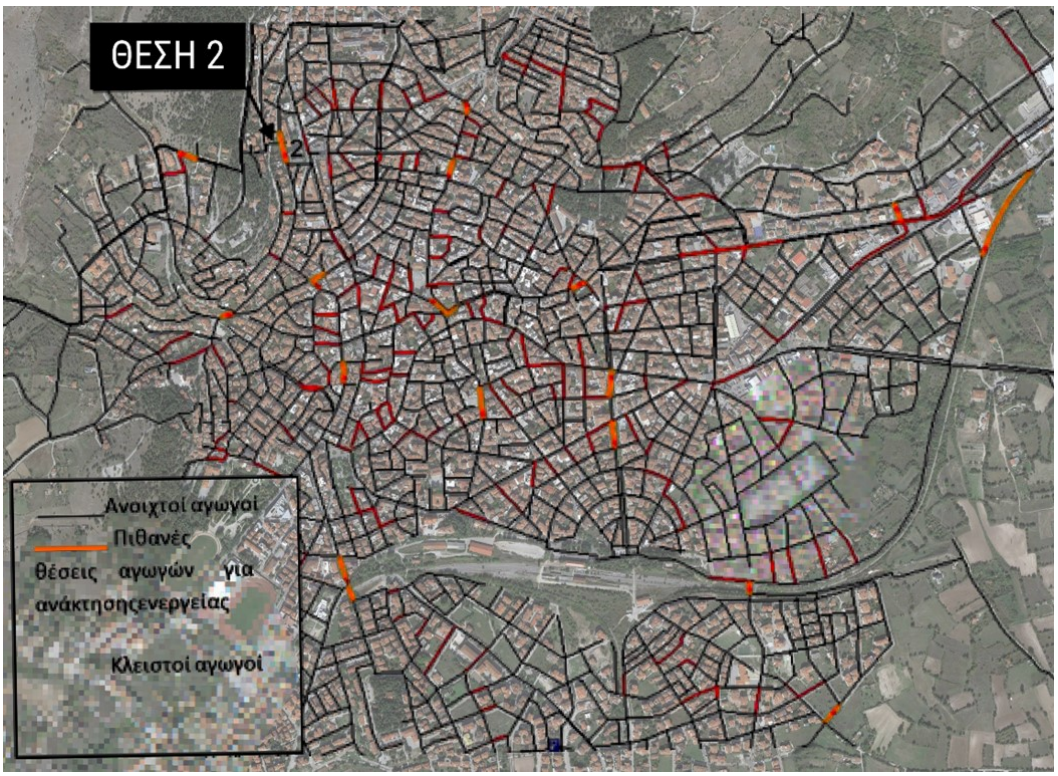
Παραρτήματα

Η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του δικτύου διανομής της πόλης της Κοζάνης

ΘΕΣΗ 2

Πίνακας 90 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 2, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	2											
Διάταξη	PRV-34											
Διάμετρος(mm)	140											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	3,01											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P383	P384	P383	P384	P383	P384	P383	P384	P383	P384	P383	P384
Κόμβος	f.N 64	f. 1447	f.N 64	f. 1447	f.N 64	f. 1447	f.N 64	f. 1447	f.N 64	f. 1447	f.N 64	f. 1447
Πιεση(Kpa)	286,38	313,12	288,23	315,44	284,37	310,55	284,01	310,06	283,46	309,48	284,13	310,32
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	32,5		28,2		37,8		37,5		37,4		36,8	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	42,6		39,1		46,3		48,6		48,8		47,5	
Παροχή(m^3/h)	37,9		34,1		42,0		42,8		43,1		42,0	
Μήκος(m)	62	27	62	27	62	27	62	27	62	27	62	27



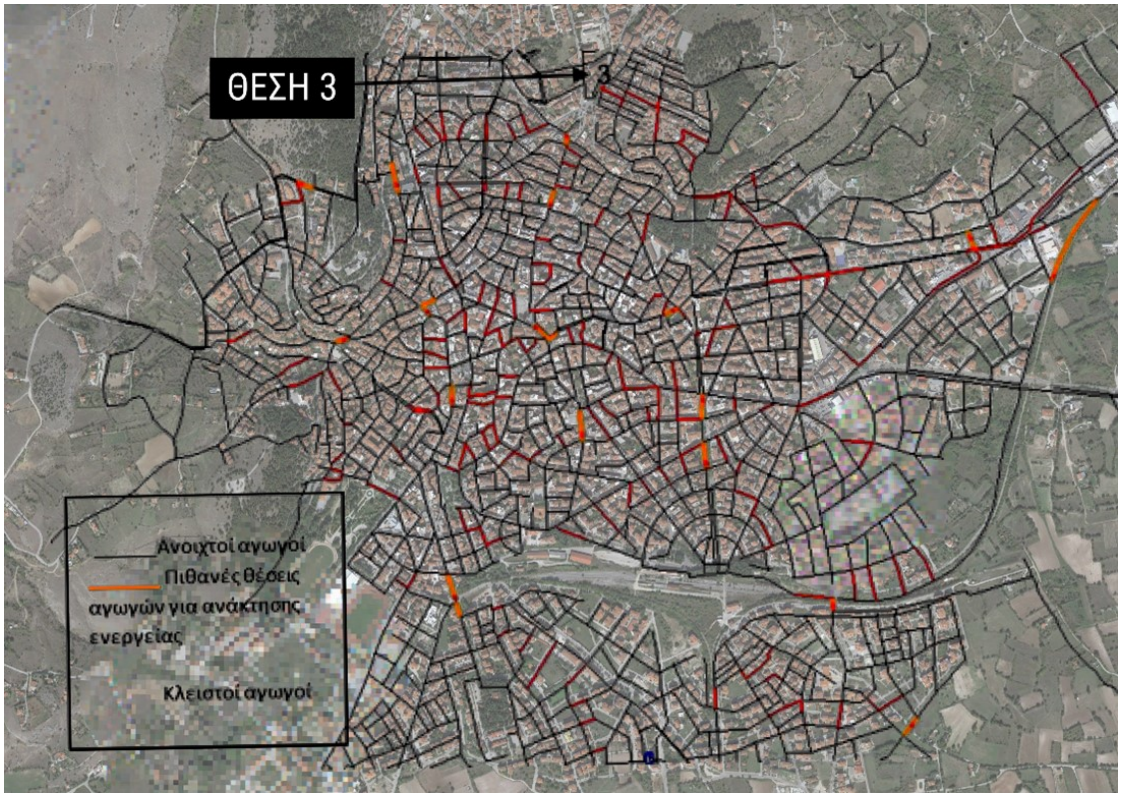
Εικόνα 78 Σημείο 2 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 3

Πίνακας 91 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 3, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	3											
Διάταξη	PRV-14											
Διάμετρος(mm)	160											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	0,44											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P290	P291	P290	P291	P290	P291	P290	P291	P290	P291	P290	P291
Κόμβος	f.N 1459	f.N 236	f.N 1459	f.N 236	f.N 1459	f.N 236	f.N 1459	f.N 236	f.N 1459	f.N 236	f.N 1459	f.N 236
Πιεση(Kpa)	660,04	664,36	661,27	665,60	658,42	662,73	659,74	664,07	660,29	664,60	660,76	665,09
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	6,55		8,42		10,17		10,07		10,44		10,25	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	11,84		12,50		13,53		14,57		15,11		14,53	
Παροχή(m^3/h)	9,04		10,64		11,78		12,11		12,67		12,23	
Μήκος(m)	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3

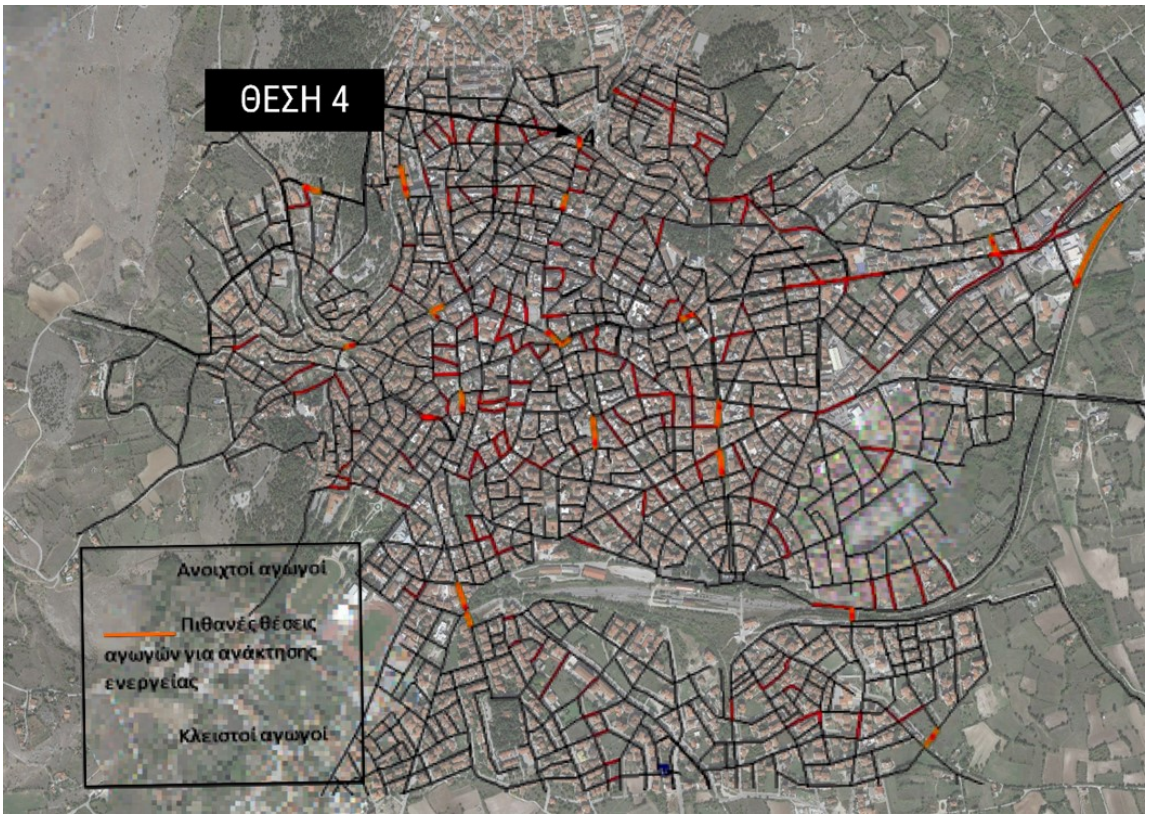


Εικόνα 79 Σημείο 3 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 4

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	4											
Διάταξη	PRV-36											
Διάμετρος(mm)	160											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	8											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P388	P387	P388	P387	P388	P387	P388	P387	P388	P387	P388	P387
Κόμβος	f.N 391	f.N 773	f.N 391	f.N 773	f.N 391	f.N 773	f.N 391	f.N 773	f.N 391	f.N 773	f.N 391	f.N 773
Πιεση(Kpa)	319,3	319,3	280,5	355,3	280,3	355,1	279,5	354,1	279,2	353,7	280,4	355,2
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	83,4		85,4		91,4		90,6		90,5		89,0	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	114,4		119,0		117,2		124,3		124,6		120,5	
Παροχή(m^3/h)	99,5		103,7		104,0		106,5		107,2		104,0	
Μήκος(m)	8	27	8	27	8	27	8	27	8	27	8	27



Εικόνα 80 Σημείο 4 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 5

Πίνακας 92 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 5, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	5											
Διάταξη	PRV-26											
Διάμετρος(mm)	150											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	5,79											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P368	P367	P368	P367	P368	P367	P368	P367	P368	P367	P368	P367
Κόμβος	f.N 1413	f.N 1415	f.N 1413	f.N 1415	f.N 1413	f.N 1415	f.N 1413	f.N 1415	f.N 1413	f.N 1415	f.N 1413	f.N 1415
Πιεση(Kpa)	426,67	426,64	396,84	452,55	396,77	452,53	395,62	451,33	394,88	450,51	396,59	452,28
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	25,96		27,33		28,67		30,96		29,50		28,97	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	38,27		39,65		37,91		40,57		42,14		40,54	
Παροχή(m^3/h)	32,11		33,93		33,11		35,51		35,57		34,38	
Μήκος(m)	43	4	43	4	43	4	43	4	43	4	43	4

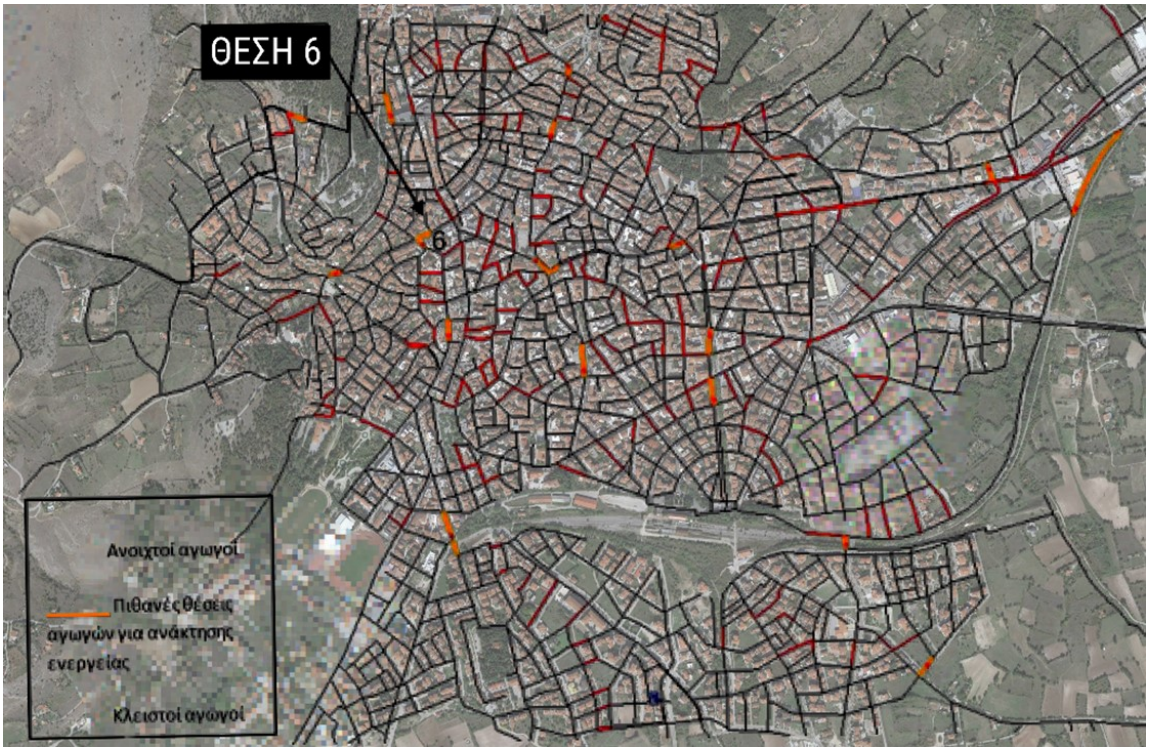
Εικόνα 81 Σημείο 5 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 6

Πίνακας 93 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 6, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	6											
Διάταξη	PRV-24											
Διάμετρος(mm)	250											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	1,33											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P363	P364	P363	P364	P363	P364	P363	P364	P363	P364	P363	P364
Κόμβος	f.N 233	f.N 1238	f.N 233	f.N 1238	f.N 233	f.N 1238	f.N 233	f.N 1238	f.N 233	f.N 1238	f.N 233	f.N 1238
Πιεση(Kpa)	436,3	447,6	426,3	437,4	419,7	430,5	427,1	437,8	436,5	447,3	440,7	451,7
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	115,8		142,8		139,9		139,1		130,6		128,5	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	158,2		162,8		176,8		189,3		178,3		172,5	
Παροχή(m^3/h)	137,8		118,8		157,7		162,4		153,8		149,3	
Μήκος(m)	62	15	62	15	62	15	62	15	62	15	62	15



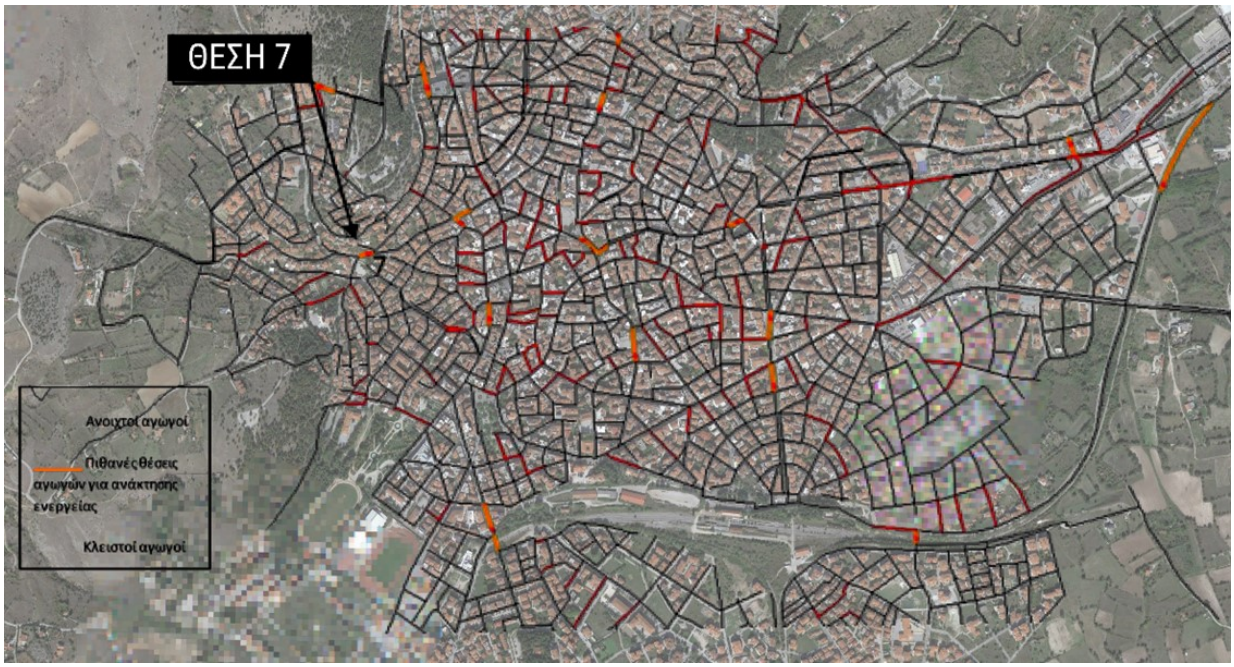
Εικόνα 82 Σημείο 6 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειαςΣημείο 6 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 7

Πίνακας 94 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 7, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	7											
Διάταξη	PRV-25											
Διάμετρος(mm)	140											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	1,35											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P365	P366	P365	P366	P365	P366	P365	P366	P365	P366	P365	P366
Κόμβος	f.N 758	f.N 630	f.N 758	f.N 630	f.N 758	f.N 630	f.N 758	f.N 630	f.N 758	f.N 630	f.N 758	f.N 630
Πιεση(Kpa)	585,9	572,0	589,7	576,0	581,8	567,8	581,0	567,0	580,5	566,6	581,7	567,8
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	23,8		19,3		27,3		28,4		26,3		26,0	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	30,4		26,2		32,4		37,4		32,9		32,2	
Παροχή(m^3/h)	27,4		23,1		29,9		31,8		29,7		29,1	
Μήκος(m)	10	28	10	28	10	28	10	28	10	28	10	28



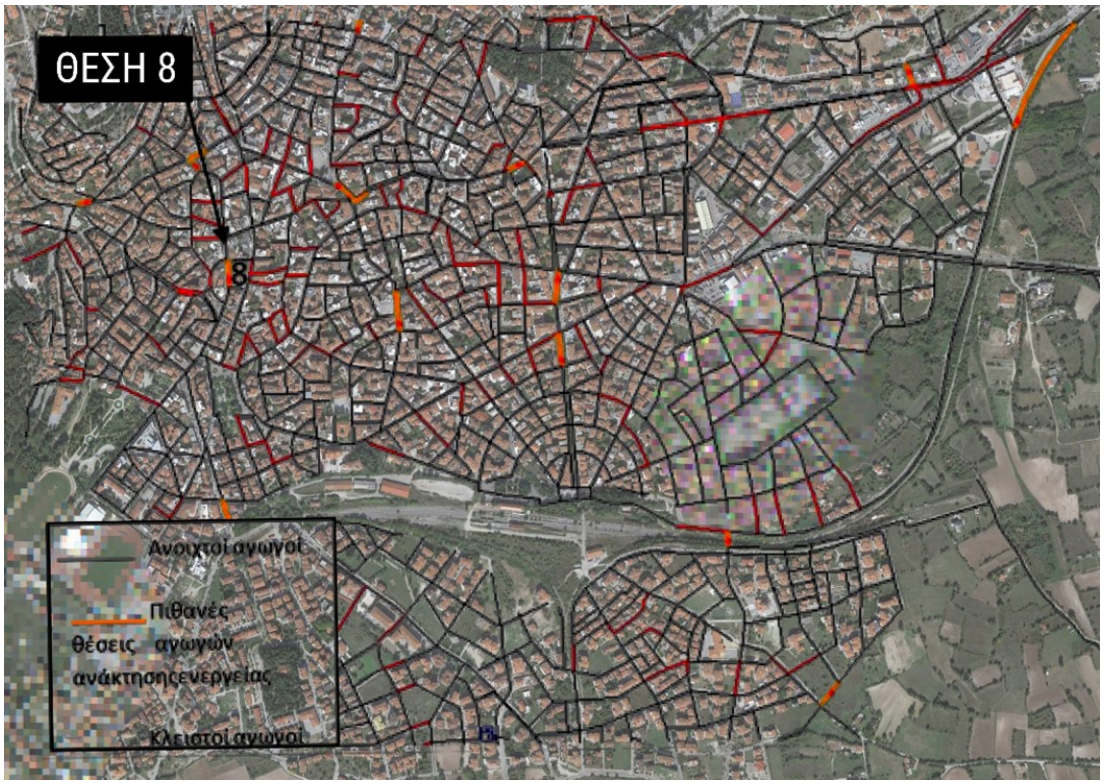
Εικόνα 83 Σημείο 7 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 8

Πίνακας 95 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 8, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	8											
Διάταξη	PRV-23											
Διάμετρος(mm)	200											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	3,99											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P362	P361	P362	P361	P362	P361	P362	P361	P362	P361	P362	P361
Κόμβος	f.N 685	f.N 1144	f.N 685	f.N 1144	f.N 685	f.N 1144	f.N 685	f.N 1144	f.N 685	f.N 1144	f.N 685	f.N 1144
Πιεση(Kpa)	526,3	563,4	514,9	551,8	504,2	540,7	510,3	546,6	541,0	541,1	528,2	564,9
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	80,2		82,2		97,2		96,6		89,6		88,2	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	108,2		111,3		122,0		130,2		120,9		117,1	
Παροχή(m^3/h)	94,6		98,0		109,1		112,2		104,7		101,8	
Μήκος(m)	43	17	43	17	43	17	43	17	43	17	43	17



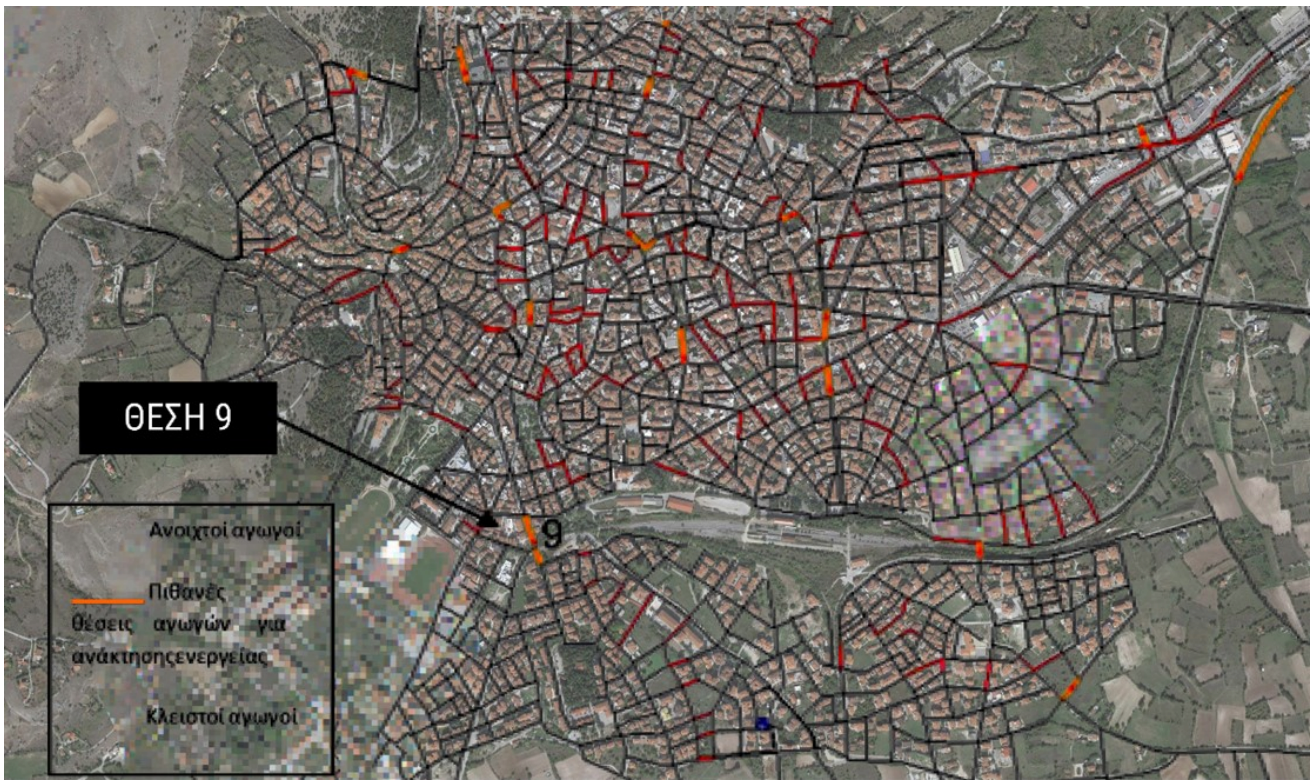
Εικόνα 84 Σημείο 8 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 9

Πίνακας 96 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 9, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	9											
Διάταξη	PRV-9											
Διάμετρος(mm)	160											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	0,17											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P275	P276	P275	P276	P275	P276	P275	P276	P275	P276	P275	P276
Κόμβος	f.N 270	f.N 616	f.N 270	f.N 616	f.N 270	f.N 616	f.N 270	f.N 616	f.N 270	f.N 616	f.N 270	f.N 616
Πιεση(Kpa)	637,8	662,9	625,4	650,4	611,1	635,2	616,3	640,2	631,1	655,6	637,4	662,0
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	47,2		48,3		59,2		58,9		53,6		52,9	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	62,5		63,7		73,3		78,0		70,8		68,7	
Παροχή(m^3/h)	55,1		56,6		65,9		67,7		61,9		60,3	
Μήκος(m)	67	15	67	15	67	15	67	15	67	15	67	15



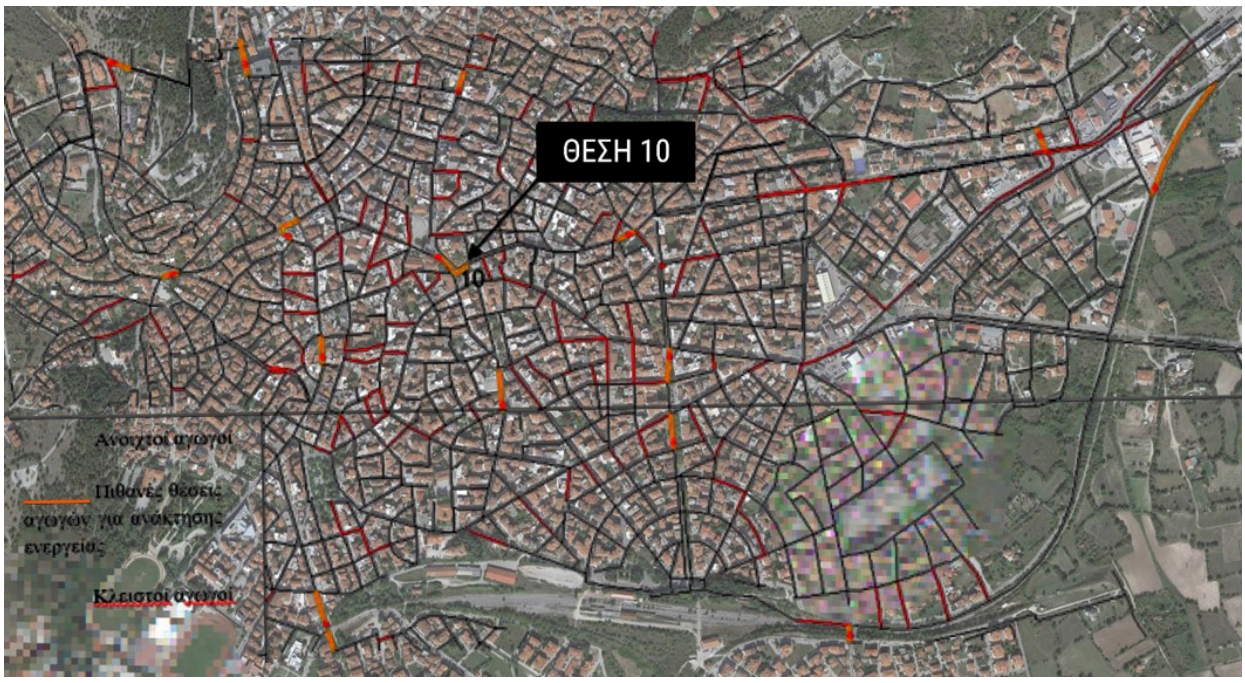
Εικόνα 85 Σημείο 9 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 10

Πίνακας 97 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 10, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	10											
Διάταξη	PRV-28											
Διάμετρος(mm)	350											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	0,34											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P371	P372	P371	P372	P371	P372	P371	P372	P371	P372	P371	P372
Κόμβος	f.N 175	f.N 1278	f.N 175	f.N 1278	f.N 175	f.N 1278	f.N 175	f.N 1278	f.N 175	f.N 1278	f.N 175	f.N 1278
Πιεση(Kpa)	466,6	466,6	460,3	455,7	457,8	453,0	466,8	461,9	473,6	468,8	476,4	471,7
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	204,3		208,2		243,1		241,6		238,0		229,9	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	283,6		289,8		310,9		333,9		315,1		304,3	
Παροχή(m^3/h)	245,7		252,7		275,9		284,5		269,8		261,6	
Μήκος(m)	78	14	78	14	78	14	78	14	78	14	78	14



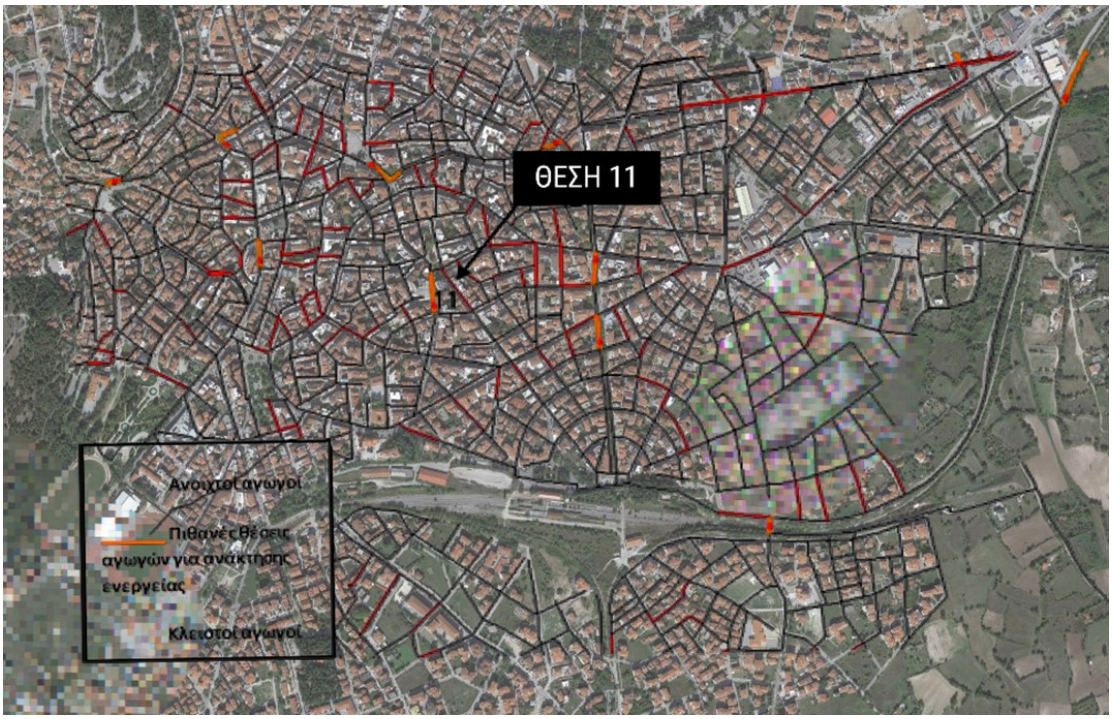
Εικόνα 86 Σημείο 10 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 11

Πίνακας 98 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 11, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	11											
Διάταξη	PRV-20											
Διάμετρος(mm)	250											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	2,97											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P356	P355	P356	P355	P356	P355	P356	P355	P356	P355	P356	P355
Κόμβος	f.N 492	f.N91	f.N 492	f.N91	f.N 492	f.N91	f.N 492	f.N91	f.N 492	f.N91	f.N 492	f.N91
Πιεση(Kpa)	601,8	630,4	592,9	621,5	588,2	616,7	596,3	624,8	604,6	633,2	608,3	636,8
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	50,4		50,6		62,7		62,3		56,6		55,6	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	71,4		72,1		81,6		87,9		80,1		77,2	
Παροχή(m^3/h)	61,4		62,3		71,9		74,2		68,0		65,8	
Μήκος(m)	72	17	72	17	72	17	72	17	72	17	72	17



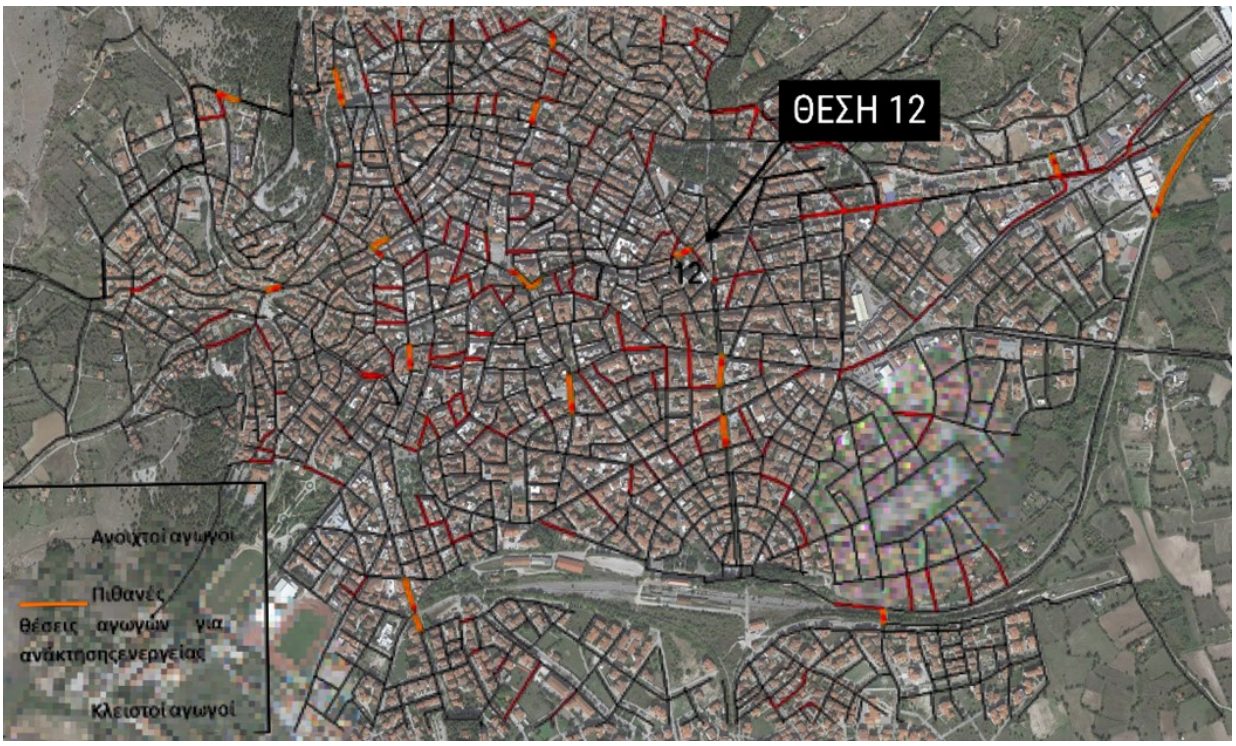
Εικόνα 87 Σημείο 11 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 12

Πίνακας 99 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 12, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	12											
Διάταξη	PRV-35											
Διάμετρος(mm)	200											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	1,13											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P386	P385	P386	P385	P386	P385	P386	P385	P386	P385	P386	P385
Κόμβος	f.N 501	f.N 1294	f.N 501	f.N 1294	f.N 501	f.N 1294	f.N 501	f.N 1294	f.N 501	f.N 1294	f.N 501	f.N 1294
Πιεση(Kpa)	348,7	348,7	332,3	343,3	334,4	345,4	326,9	337,9	338,4	349,4	347,9	358,9
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	16,7		17,2		17,4		17,2		16,0		15,8	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	22,1		22,9		21,5		22,5		21,0		20,4	
Παροχή(m^3/h)	19,6		20,4		19,4		19,8		18,5		18,1	
Μήκος(m)	13	26	13	26	13	26	13	26	13	26	13	26



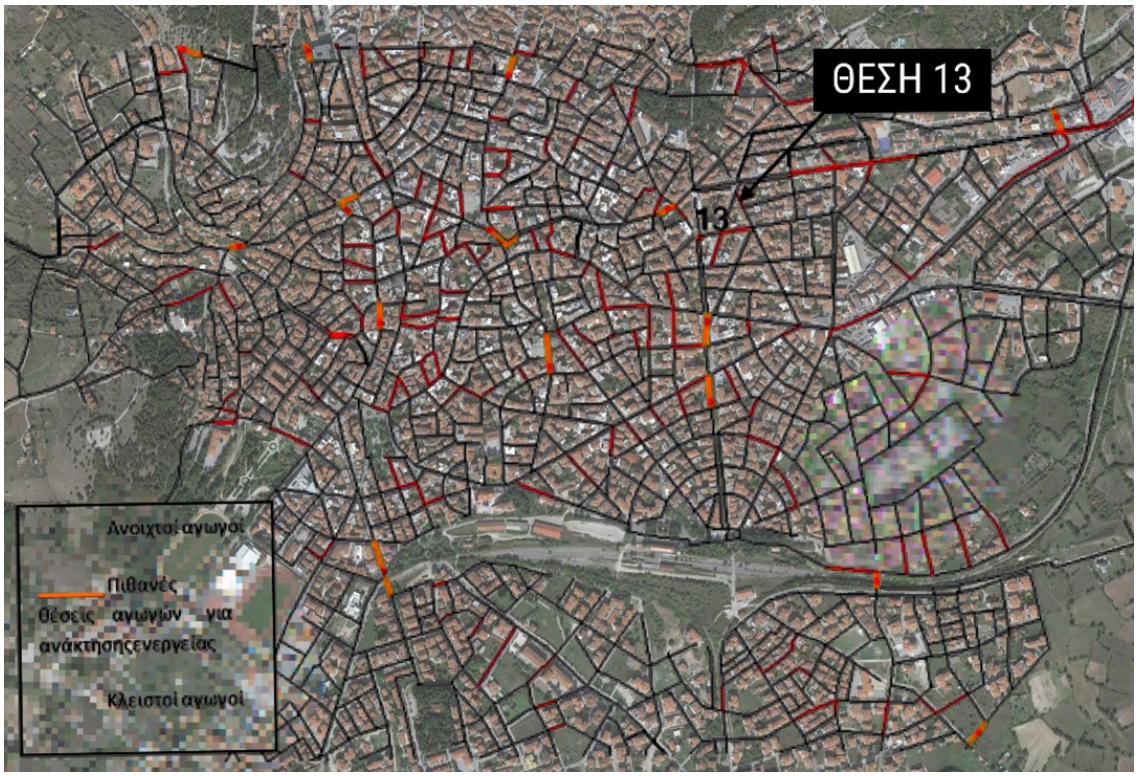
Εικόνα 88 Σημείο 12 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 13

Πίνακας 100 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 13, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	13											
Διάταξη	PRV-30											
Διάμετρος(mm)	200											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	0											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P376	P375	P376	P375	P376	P375	P376	P375	P376	P375	P376	P375
Κόμβος	f.N 1290	J 66	f.N 1290	J 66	f.N 1290	J 66	f.N 1290	J 66	f.N 1290	J 66	f.N 1290	J 66
Πιεση(Kpa)	463,9	463,9	456,0	455,8	455,2	455,0	464,8	464,7	470,5	470,3	472,7	472,5
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	95,5		98,0		106,6		105,9		94,3		92,6	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	136,0		140,2		139,4		150,7		134,6		129,6	
Παροχή(m^3/h)	116,4		120,9		122,5		126,5		113,7		109,9	
Μήκος(m)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2



Εικόνα 89 Σημείο 13 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 14

Πίνακας 101 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 14, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	14											
Διάταξη	PRV-11											
Διάμετρος(mm)	200											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	4,6											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P279	P280	P279	P280	P279	P280	P279	P280	P279	P280	P279	P280
Κόμβος	f.N 1115	f.N 1102	f.N 1115	f.N 1102	f.N 1115	f.N 1102	f.N 1115	f.N 1102	f.N 1115	f.N 1102	f.N 1115	f.N 1102
Πιεση(Kpa)	664,8	621,1	656,3	612,7	655,3	611,7	664,4	621,0	671,7	627,9	674,3	630,4
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	55,1		56,4		62,7		62,3		53,4		52,5	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	79,1		80,9		82,2		88,8		76,3		73,5	
Παροχή(m^3/h)	67,2		69,7		72,1		74,5		64,5		62,3	
Μήκος(m)	54	17	54	17	54	17	54	17	54	17	54	17

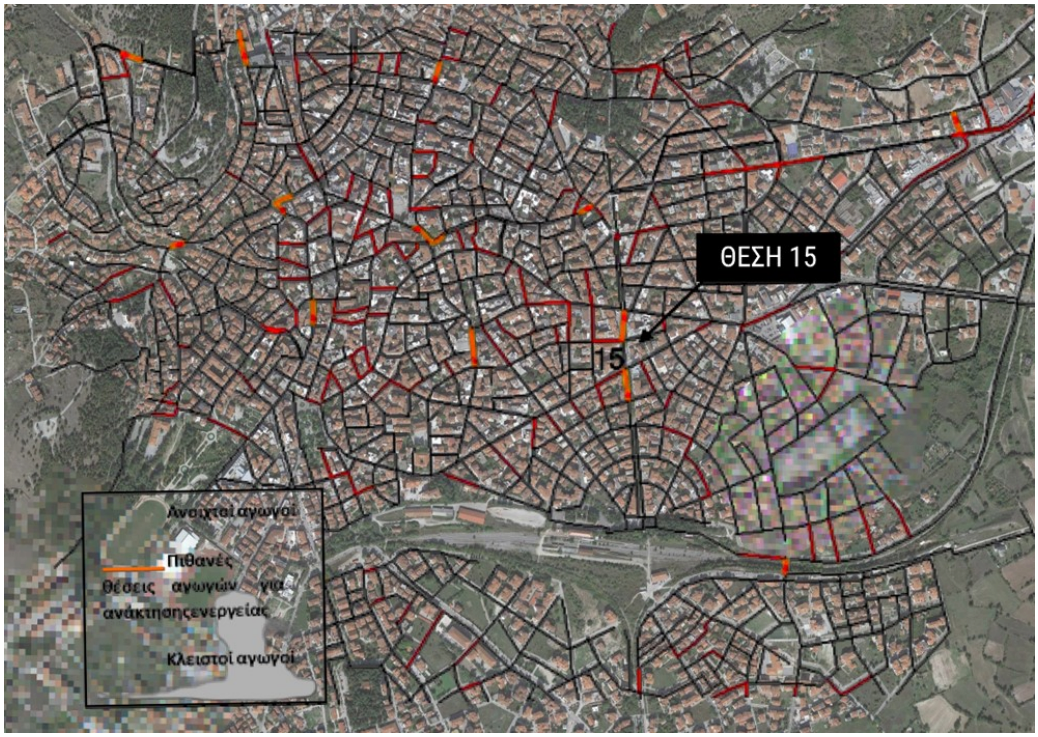
Εικόνα 90 Σημείο 14 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 15

Πίνακας 102 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 15, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	15											
Διάταξη	PRV-15											
Διάμετρος(mm)	200											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	1,96											
Ηλικία	56											
Αγωγός	P345	P346	P345	P346	P345	P346	P345	P346	P345	P346	P345	P346
Κόμβος	f.N 1113	f.N 1112	f.N 1113	f.N 1112	f.N 1113	f.N 1112	f.N 1113	f.N 1112	f.N 1113	f.N 1112	f.N 1113	f.N 1112
Πιεση(Kpa)	678,9	697,6	670,3	689,0	669,2	687,8	678,3	696,9	685,8	704,6	688,5	707,2
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	24,8		30,9		28,2		28,0		23,2		22,8	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	35,5		35,9		37,0		40,0		33,2		31,9	
Παροχή(m^3/h)	30,3		25,0		32,5		33,5		28,0		27,0	
Μήκος(m)	57	17	57	17	57	17	57	17	57	17	57	17



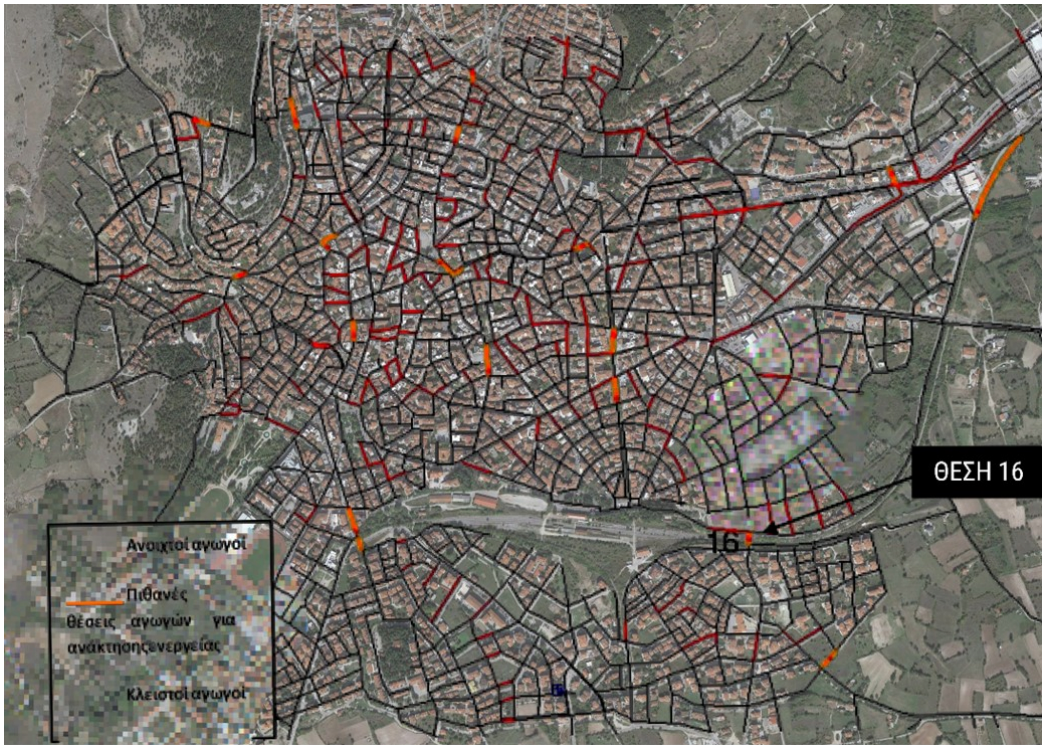
Εικόνα 91 Σημείο 15 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 16

Πίνακας 103 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 16, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	16											
Διάταξη	PRV-16											
Διάμετρος(mm)	80											
Υλικό	Asbestos Cement											
Διαφορά υψομέτρου(m)	1,46											
Ηλικία	41											
Αγωγός	P348	P347	P348	P347	P348	P347	P348	P347	P348	P347	P348	P347
Κόμβος	f.N 977	f.N 1808	f.N 977	f.N 1808	f.N 977	f.N 1808	f.N 977	f.N 1808	f.N 977	f.N 1808	f.N 977	f.N 1808
Πιεση(Kpa)	663,8	596,9	652,6	583,9	632,6	552,9	636,4	553,5	665,2	593,8	673,0	604,9
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	47,9		57,2		67,7		66,3		59,9		54,9	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	75,9		77,2		84,1		88,9		80,3		79,6	
Παροχή(m^3/h)	66,7		67,9		75,1		77,1		69,8		67,5	
Μήκος(m)	18	16	18	16	18	16	18	16	18	16	18	16



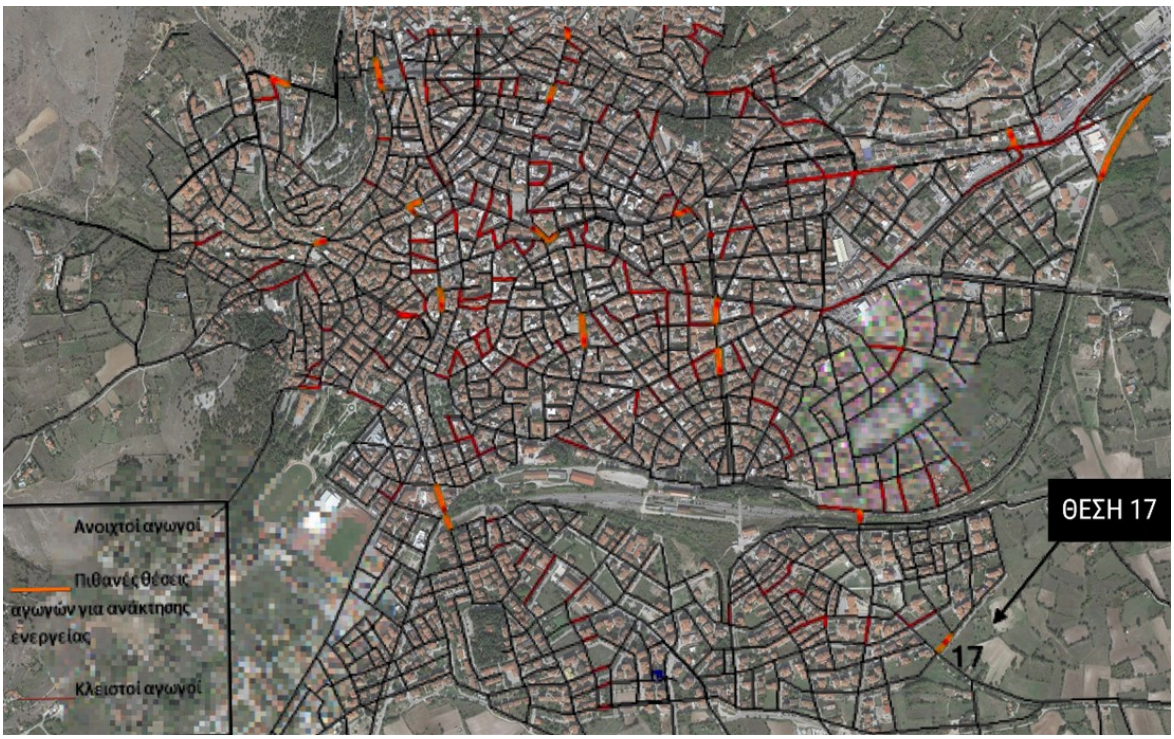
Εικόνα 92 Σημείο 16 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 17

Πίνακας 104 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 17, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	17											
Διάταξη	PRV-17											
Διάμετρος(mm)	200											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	3,33											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P349	P350	P349	P350	P349	P350	P349	P350	P349	P350	P349	P350
Κόμβος	f.N 502	f.N 697	f.N 502	f.N 697	f.N 502	f.N 697	f.N 502	f.N 697	f.N 502	f.N 697	f.N 502	f.N 697
Πιεση(Kpa)	663,8	596,9	652,6	583,9	632,6	552,9	636,4	553,5	665,2	593,8	673,0	604,9
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	30,4		38,6		45,4		44,4		39,3		35,5	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	52,8		54,0		58,9		62,1		55,6		55,2	
Παροχή(m^3/h)	46,4		47,3		52,2		53,7		47,7		46,0	
Μήκος(m)	24	39	24	39	24	39	24	39	24	39	24	39



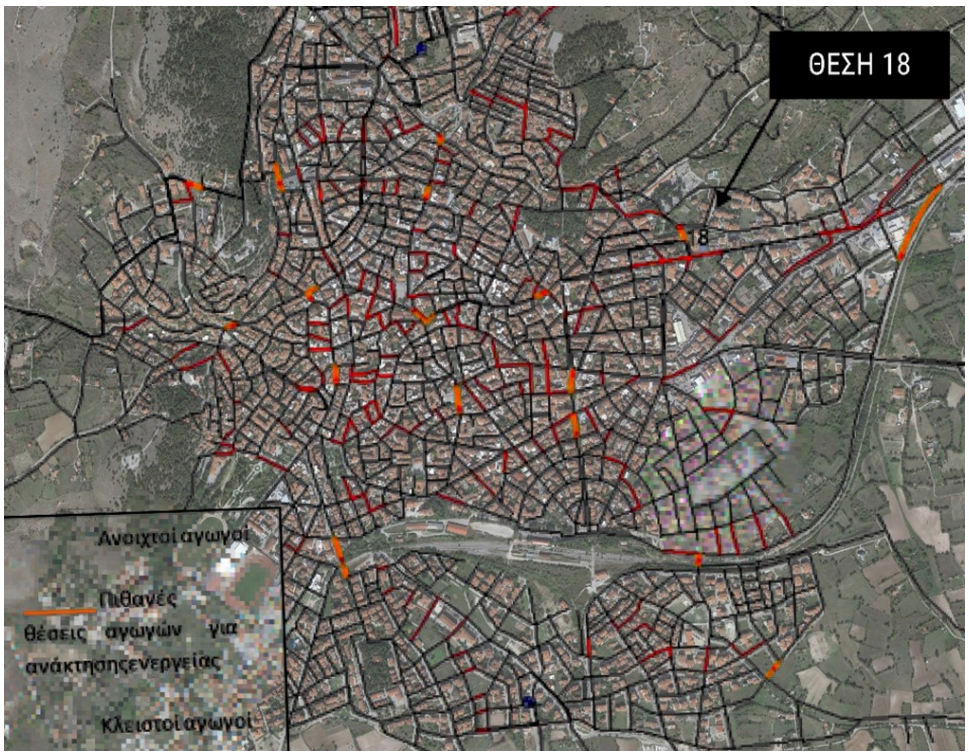
Εικόνα 93 Σημείο 17 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 18

Πίνακας 105 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 18, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	18											
Διάταξη	PRV-37											
Διάμετρος(mm)	250											
Υλικό	A/C											
Διαφορά υψομέτρου(m)	4,52											
Ηλικία	46											
Αγωγός	P413	P414	P413	P414	P413	P414	P413	P414	P413	P414	P413	P414
Κόμβος	f.N 1701	f.N 1358	f.N 1701	f.N 1358	f.N 1701	f.N 1358	f.N 1701	f.N 1358	f.N 1701	f.N 1358	f.N 1701	f.N 1358
Πιεση(Kpa)	537,4	492,3	535	490	532	487	533	488	536	490,7	531,2	490,4
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	90		93,6		111,6		113,2		97,2		100,8	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	130,6		140,4		151,6		154		140,4		143,3	
Παροχή(m^3/h)	120,8		123,3		135,7		139,8		125,1		121,2	
Μήκος(m)	35	18	35	18	35	18	35	18	35	18	35	18



Εικόνα 94 Σημείο 18 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

ΘΕΣΗ 19

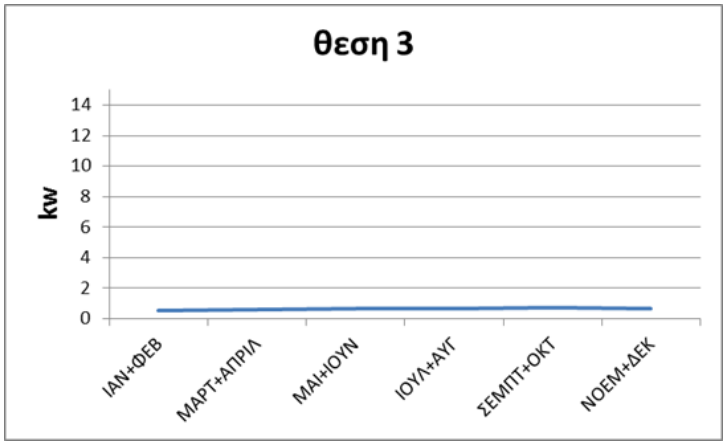
Πίνακας 106 Στοιχεία των αγωγών (PRVs) στη θέση 19, ανά δίμηνο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΙΑΝ+ΦΕΒ		ΜΑΡΤ+ΑΠΡΙΛ		ΜΑΙ+ΙΟΥΝ		ΙΟΥΛ+ΑΥΓ		ΣΕΜΠΤ+ΟΚΤ		ΝΟΕΜ+ΔΕΚ	
Σημείο	19											
Διάταξη	PRV-33											
Διάμετρος(mm)	160											
Υλικό	PVC											
Διαφορά υψομέτρου(m)	1,7											
Ηλικία	29											
Αγωγός	P382	P381	P382	P381	P382	P381	P382	P381	P382	P381	P382	P381
Κόμβος	f.N 9	f.N 776	f.N 9	f.N 776	f.N 9	f.N 776	f.N 9	f.N 776	f.N 9	f.N 776	f.N 9	f.N 776
Πιεση(Kpa)	717,2	717,2	713,9	704,0	711,4	696,4	720,9	704,3	728,8	719,2	731,0	723,0
Ελάχιστη Παροχή (m^3/h)	75,2		84,6		100,6		100,0		87,8		81,7	
Μέγιστη Παροχή(m^3/h)	114,0		116,4		125,9		133,9		116,4		115,2	
Παροχή(m^3/h)	99,5		101,6		111,8		115,0		101,2		97,9	
Μήκος(m)	245	21	245	21	245	21	245	21	245	21	245	21

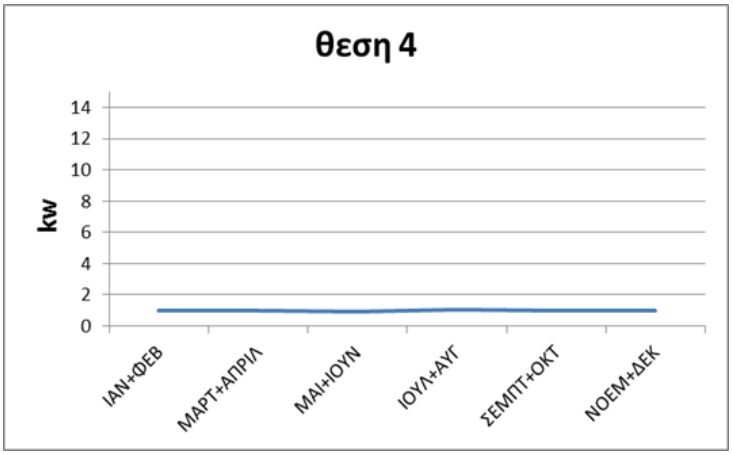
Εικόνα 95 Σημείο 19 πιθανή θέση ανάκτησης ενέργειας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

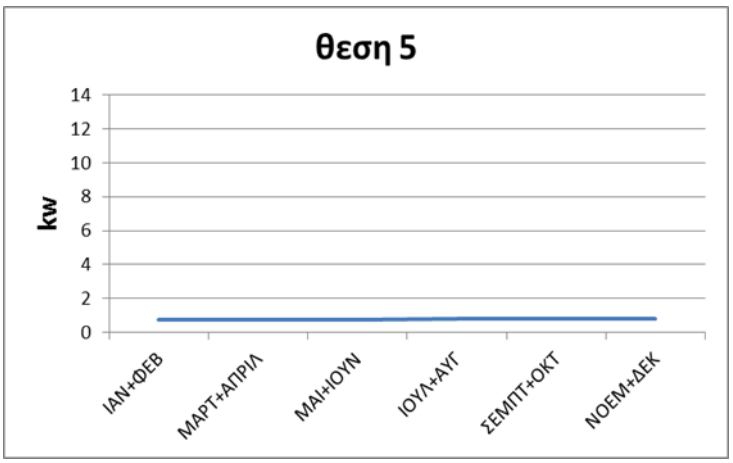
Εκτίμηση ενέργειας αγωγού για κάθε θέση



Γράφημα 146 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 3

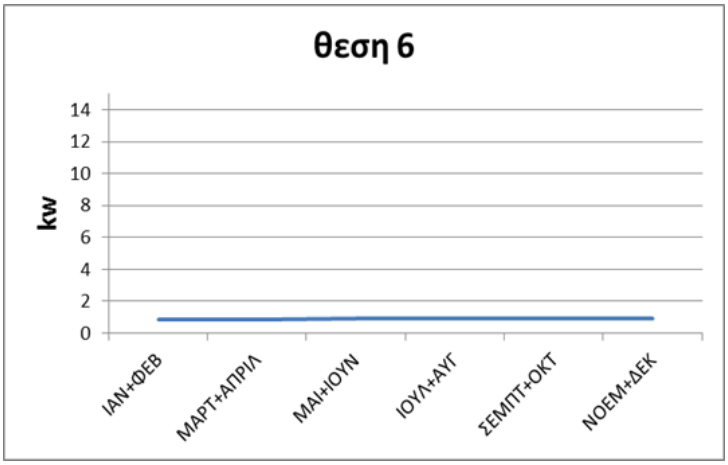


Γράφημα 147 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 4

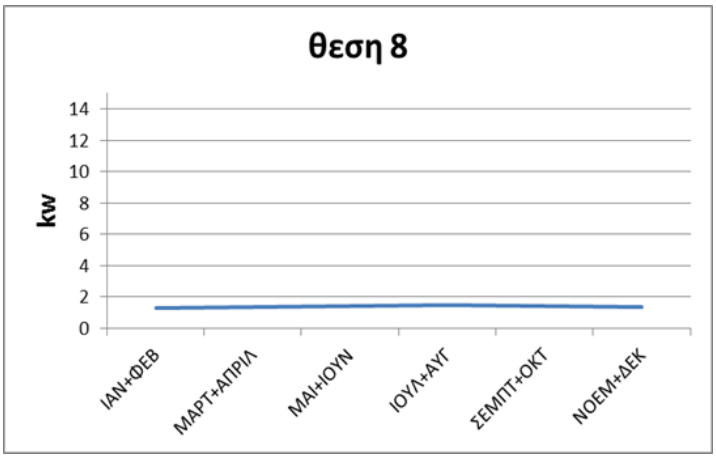


Γράφημα 148 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 5

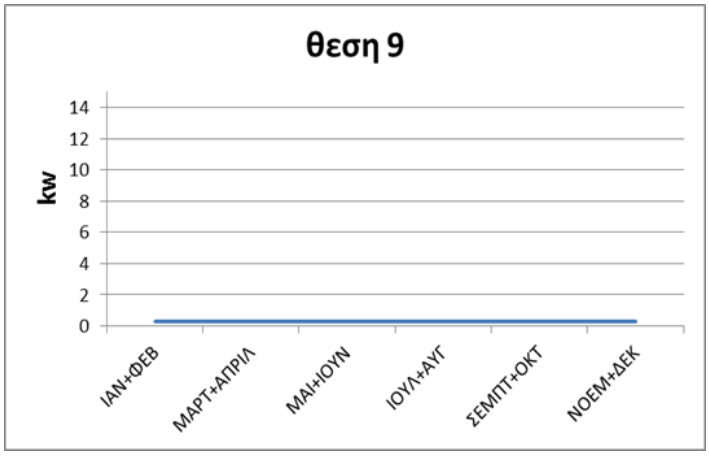
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 149 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 6

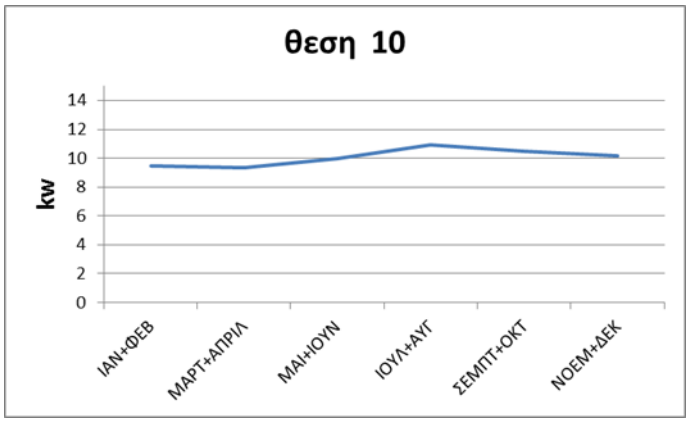


Γράφημα 150 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 8

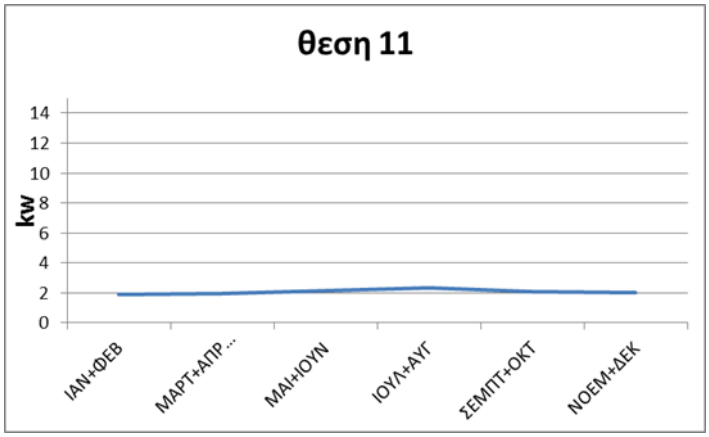


Γράφημα 151 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 9

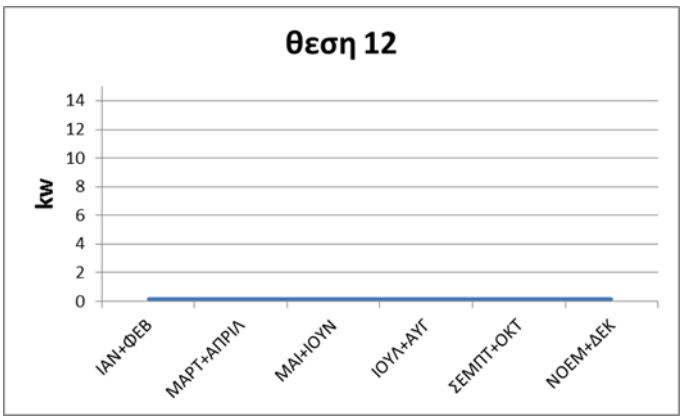
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 152 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 10

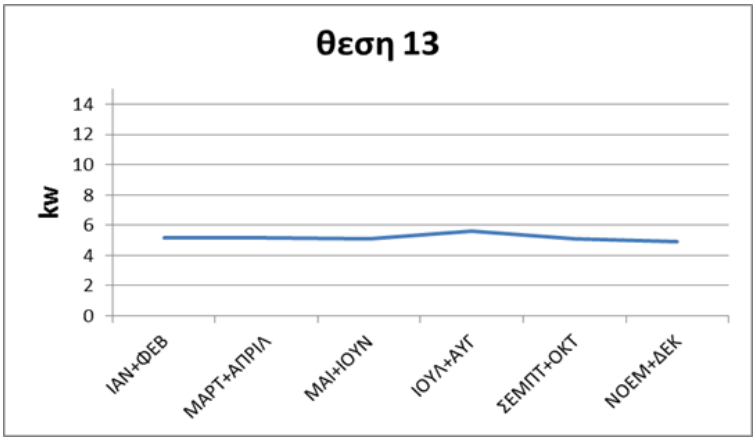


Γράφημα 153 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 11

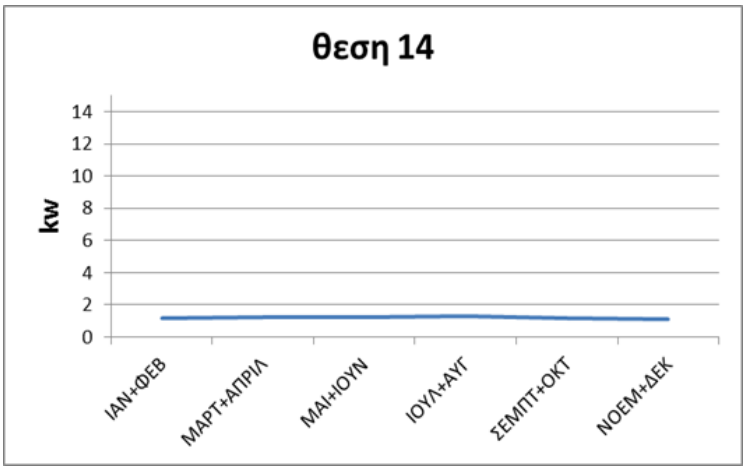


Γράφημα 154 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 12

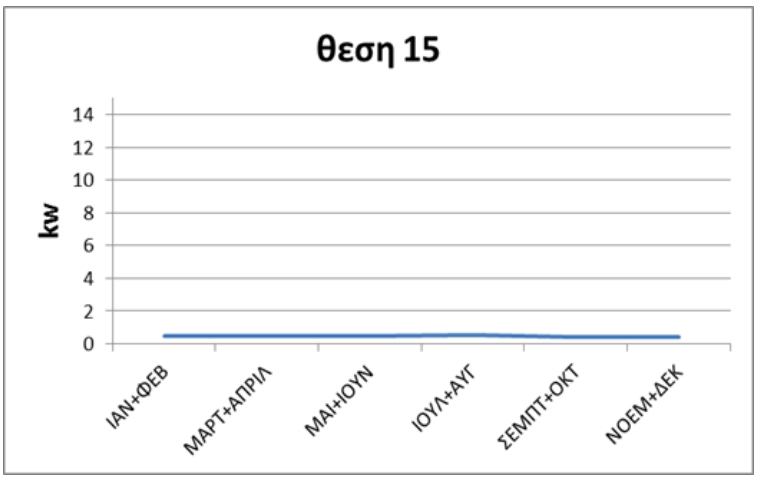
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 155 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 13

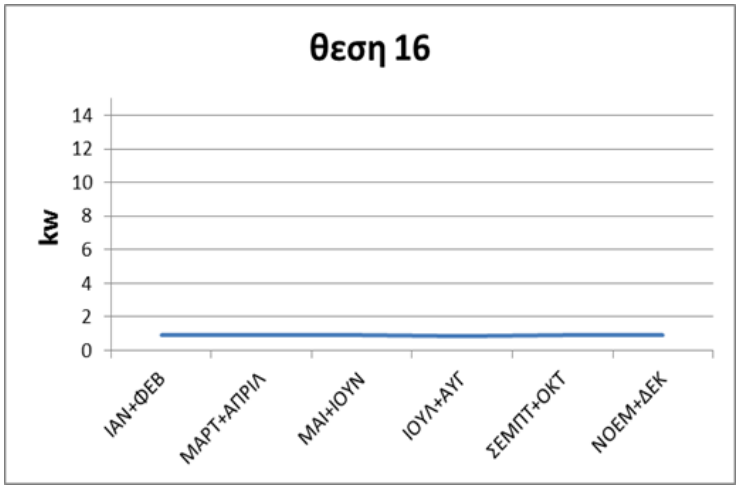


Γράφημα 156 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 14

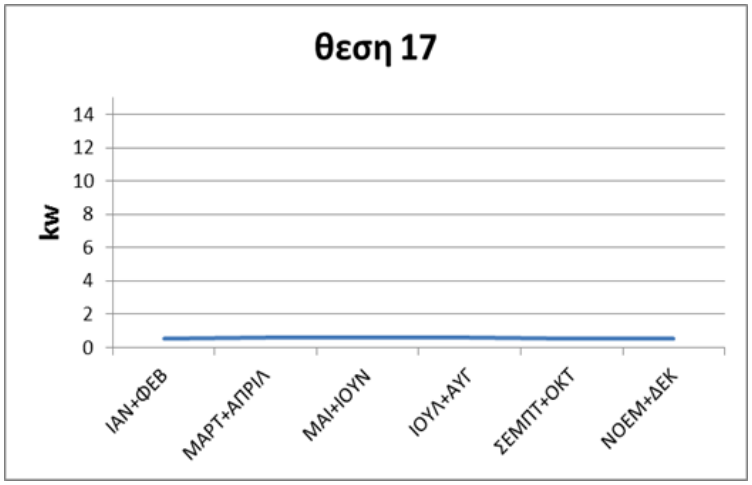


Γράφημα 157 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 15

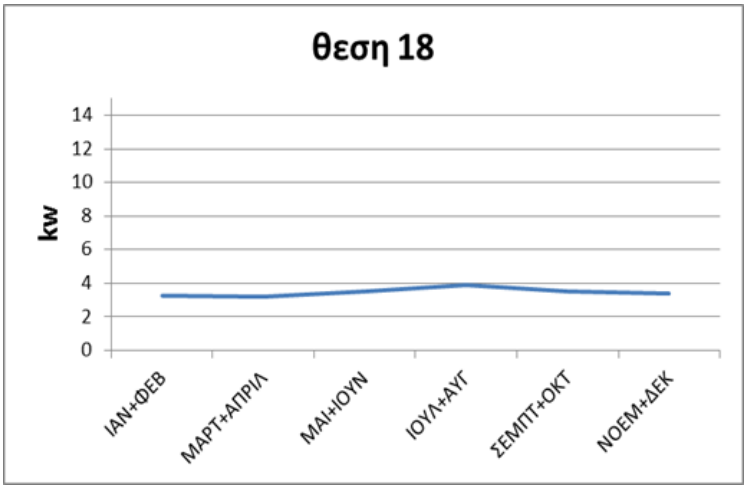
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 158 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 16

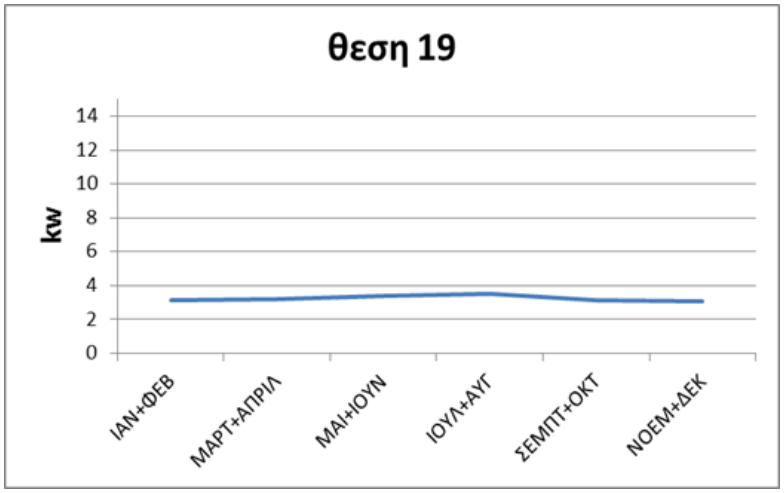


Γράφημα 159 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 17



Γράφημα 160 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 18

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Γράφημα 161 Πιθανή Παραγωγή Ενέργειας στη θέση 19

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνες Πειράματος Υδροτουρμπίνας

Εικόνα 96 Φλάντζα ένωσης και συγκολλητή καμπύλη

Εικόνα 97 Πιεσόμετρο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 98 Παροχόμετρα

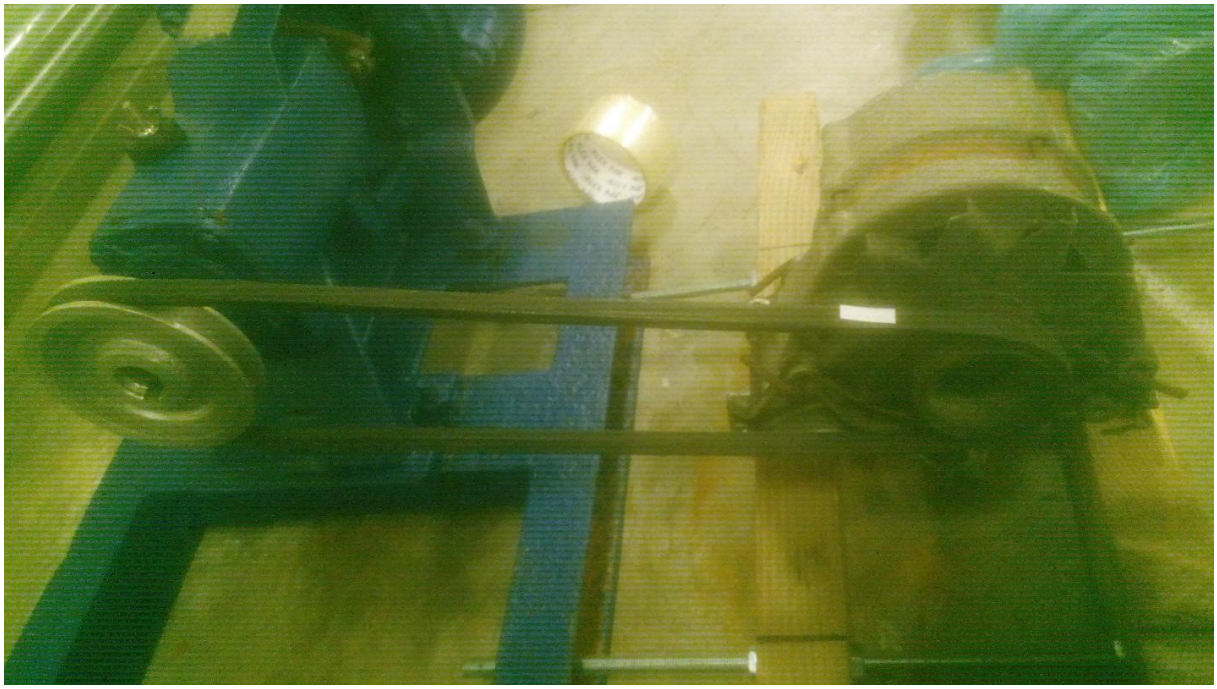
Εικόνα 99 Ολοκληρωμένη διάταξη με υδροτουρμπίνα συνδεδεμένη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Εικόνα 100 Αντάπτορας σύνδεσης με μάνικα πυροσβεστικού οχήματος

Εικόνα 101 Εικόνα δοκιμής από το σύστημα του Φ110

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38



Εικόνα 102 Υδροτουρμπίνα με δυναμό σε σύνδεση με ιμάντα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Δημοσιευμένες Εργασίες

Μέχρι σήμερα η ερευνητική προσπάθεια οδήγησε στη συμμετοχή σε 14 δημοσιευμένες εργασίες:

1. Kanakoudis V., Gonelas K., Patelis M., "Developing water pressure management scenarios to cut down the real losses in the water distribution system of Kozani, Greece", Int. Conf. "Protection and Restoration of the Environment XII", 248-255, Skiathos/Greece, 2014
2. Γκονέλας Κ., Κανακούδης Β., Πατέλης Μ., "Διαχείρισης της πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης της Κοζάνης με χρήση υδραυλικού μοντέλου, τμηματοποίηση και συσκευές μείωσης πίεσης ", 3ο Κοινό Συνέδριο 13ο ΕΥΕ / 9ο ΕΕΔΥΠ / 1ο ΕΥΣ, "Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων στη νέα εποχή", (1):450-457, Αθήνα, 2015
3. Patelis M., Kanakoudis V., Gonelas K., "Pressure management and energy recovery capabilities using PaTs", Procedia Engineering, 162:503-510, Elsevier, 2016
4. Korkana P., Kanakoudis V., Patelis M., Gonelas K., "Forming district metered areas in a water distribution network using genetic algorithms", Procedia Engineering, 162:511-520, Elsevier, 2016
5. Korkana P., Kanakoudis V., Makrysopoulos A., Patelis M., Gonelas K., "Developing an optimization algorithm to form district metered areas in a water distribution system", Procedia Engineering, 162:530-536, Elsevier, 2016
6. Patelis M., Vasilopoulos I., Kanakoudis V., Gonelas K., "Exploiting energy recovery potential in a water distribution network along with reliable pressure management", Int. Conf. "Protection & Restoration of the Environment XIII", 117-124, Mykonos/Greece, 2016
7. Kanakoudis V., Korkana P., Makrysopoulos A., Patelis M., Gonelas K., "Dividing a water distribution network in District Metered Areas using Genetic Algorithms", 14th International Computing and Control for the Water Industry Conference (CCWI2016), Amsterdam/The Netherlands, 2016
8. Patelis M., Kanakoudis V., Gonelas K., "Combining pressure management and energy recovery benefits in a water distribution system installing PaTs", Water Supply: Research & Technology-AQUA, 66(7):520-527, IWAp, 2017
9. Gonelas K., Chondronasios A., Kanakoudis V., Patelis M., Korkana P., "Forming DMAs in a water distribution network considering the operating pressure and the chlorine residual concentration as the design parameters", 19(6):900-910, Hydroinformatics, IWAp, 2017
10. Chondronasios A., Gonelas K., Kanakoudis V., Patelis M., Korkana P., "Optimizing DMAs' formation in a water pipe network: the water aging and the operating pressure factors", 19(6):890-899, Hydroinformatics, IWAp, 2017
11. Chatzivasili S., Papadimitriou K., Kanakoudis V., Patelis M., "Optimizing the formation of DMAs in a water distribution network applying Geometric Partitioning (GP) and Gaussian Mixture Models (GMMs)", Proceedings, 2(11):601, MDPI, 2018
12. Kravvari A., Kanakoudis V., Patelis M., "The impact of pressure management techniques on the water age in an urban pipe network-The case of Kos city network", Proceedings, 2(11):699, MDPI, 2018
13. Patelis M., Kanakoudis V., Kravvari A., "Pressure regulation vs. water aging in water distribution networks", WATER, 12(5):1323, MDPI, 2020
14. Kourbasis N., Tsitsifli S., Patelis M., Kanakoudis V., "Optimizing water age and pressure in drinking water distribution networks", Environmental Sciences Proceedings, 2(1):51, MDPI, 2020

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
03/05/2026 02:06:06 EEST - 216.73.217.38