



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ
ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET**

Ειρήνη Μαρία Σύρμου

Επιβλέπων: Αναστάσιος Ι. Στάμου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, 2024

Copyright © Σύρμου Ειρήνη Μαρία, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Δρ. Αναστάσιο Ι. Στάμου, Καθηγητή στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, για το επιστημονικό περιβάλλον που δημιούργησε και για την καθοδήγηση και συμπαράστασή του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Γιώργο Τζάνε για την πολύτιμη βοήθειά του, για την προθυμία του να συζητήσει και να επιλύσει κάθε απορία μου και τη συνολική του συνδρομή για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Απονέμονται ευχαριστίες στα ακόλουθα στελέχη της ΕΥΔΑΠ, για την άμεση εξυπηρέτηση των αιτημάτων μου και την επίλυση κάθε απορίας που προέκυψε κατά τη μελέτη του παρόντος έργου:

- Κωνσταντίνο Παπαδάκη, Διευθυντή Δικτύου Ύδρευσης.
- Ευθύμιο Λύτρα, Αναπληρωτή Διευθυντή Στρατηγικής και Καινοτομίας της ΕΥΔΑΠ.
- Ιωάννη Μιχαλίτση, Υδρονομείο Τ. Ηρακλείου, Διεύθυνση Δικτύου Ύδρευσης.
- Σωτήρη Κωνταντόπουλο, Υδρονομείο Τ. Ηρακλείου, Διεύθυνση Δικτύου Ύδρευσης.
- Ελένη Βαλληνδρά, Προϊσταμένη της Υπηρεσίας Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών.
- Μαρίζα Παγκάλου, Αναπλ. Διευθύντρια Εφαρμογών Πληροφορικής, Προϊσταμένη Υπηρεσίας Εφαρμογών Πελατών.
- Νικόλα Κοντουλάκο, Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης, Διεύθυνση Δικτύου Ύδρευσης.
- Κωνσταντίνο Βασιλόπουλο, Μηχανολόγο Μηχανικό, Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης, Διεύθυνση Δικτύου Ύδρευσης.
- Ιωάννη Συλλιγνάκη, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης, Διεύθυνση Δικτύου Ύδρευσης.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους δικούς μου ανθρώπους, στην οικογένεια μου και στους φίλους μου. Η υποστήριξη και η συμπαράσταση τους ήταν αυτά που με βοήθησαν να συνεχίσω, να πιστέψω στον εαυτό μου και να μην τα παρατήσω. Ευχαριστώ ξεχωριστά τον Αντώνη, τη Διονυσία, την Κλειώ, τον Παναγιώτη και όλους όσους έκαναν με τον τρόπο τους τα μετα - φοιτητικά μου χρόνια όμορφα.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εύρυθμη λειτουργία ενός συστήματος ύδρευσης απαιτεί την εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας και ποιότητας νερού για την κάλυψη της ζήτησης νερού, την τήρηση της πίεσης εντός αποδεκτών ορίων για την προστασία του δικτύου των αγωγών και την εξοικονόμηση υδατικών και ενεργειακών πόρων.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μαθηματική προσομοίωση του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμης Αττικής και η διερεύνηση σεναρίων για τη βελτίωση της λειτουργίας του. Για το σκοπό αυτό, το εν λόγω σύστημα θα αναλυθεί με τη χρήση του λογισμικού EPANET, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα της προσομοίωσης της υδραυλικής συμπεριφοράς και της ποιότητας νερού σε δίκτυα αγωγών υπό πίεση. Τα σενάρια επεμβάσεων που μελετώνται αφορούν (1) την εγκατάσταση νέου εξοπλισμού στο υφιστάμενο δίκτυο και (2) τη διακριτοποίηση του δικτύου διανομής σε τρεις πιεζομετρικές ζώνες και την εγκατάσταση νέου εξοπλισμού. Στόχο αποτελεί η αντιμετώπιση χαμηλών πιέσεων (<30 m) και υψηλών πιέσεων (>50 m) που εμφανίζονται στο δίκτυο και η εξοικονόμηση υδατικών και ενεργειακών πόρων.

Το σενάριο επεμβάσεων 1 περιλαμβάνει την πρακτικά ελάχιστη επέμβαση στο υφιστάμενο δίκτυο. Πραγματοποιείται η εγκατάσταση δικλίδων διατήρησης πίεσης με σκοπό την ελεγχόμενη πτώση πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης και στον αγωγό αναρρόφησης του αντλιοστασίου. Στο προτεινόμενο δίκτυο με την παραπάνω επέμβαση επιτυγχάνεται μείωση του αριθμού των κόμβων κατανάλωσης με πίεση μικρότερη των 30 m κατά 60% με 72%, γεγονός που βελτιώνει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας προς τους καταναλωτές. Παράλληλα, παρατηρούνται (α) μικρότερη καταπόνηση του δικτύου των αγωγών και του αντλιοστασίου και κατά συνέπεια του κόστους λειτουργίας και συντήρησης, και (β) μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 0.3% με 8.2%, με τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση να παρατηρείται στη μεγαλύτερη ζήτηση νερού.

Το σενάριο επεμβάσεων 2 περιλαμβάνει αρχικά τη διακριτοποίηση του υφιστάμενου δικτύου σε τρεις υδραυλικά απομονωμένες ζώνες και στη συνέχεια, την εγκατάσταση των δικλίδων διατήρησης της πίεσης που εφαρμόζονται στο σενάριο επεμβάσεων 1. Στο προτεινόμενο δίκτυο με τις παραπάνω επεμβάσεις επιτυγχάνεται μείωση του αριθμού των κόμβων κατανάλωσης με πίεση (α) μικρότερη των 30 m κατά 81% με 94% και (β) μεγαλύτερη των 50 m κατά 43% με 47%, γεγονός που βελτιώνει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας προς τους καταναλωτές. Παράλληλα, παρατηρούνται (α) μικρότερη καταπόνηση του δικτύου των αγωγών και του αντλιοστασίου και κατά συνέπεια, του κόστους λειτουργίας και συντήρησης, και (β) μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 1% με 6% με τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση να παρατηρείται με την εγκατάσταση των δικλίδων διατήρησης πίεσης και την αύξηση της διάρκειας τροφοδοσίας της δεξαμενής.

Συμπερασματικά, η προσθήκη δικλίδων διατήρησης της πίεσης είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση της πτώσης πίεσης που εμφανίζεται στο δίκτυο και στον αγωγό αναρρόφησης του αντλιοστασίου και ως εκ τούτου τη βελτίωση της λειτουργίας του δικτύου και την εξοικονόμηση υδατικών και ενεργειακών πόρων. Ταυτόχρονα, με τη διακριτοποίηση του δικτύου σε υδραυλικά απομονωμένες ζώνες επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος των πιέσεων και αντιμετωπίζεται το πρόβλημα των υπερπιέσεων, βελτιώνοντας συνολικά την ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών και επιτυγχάνοντας μικρότερη καταπόνηση των υποδομών.

Λέξεις - κλειδιά: συστήματα ύδρευσης, πίεση δικτύου ύδρευσης, εξοικονόμηση ενέργειας, υδραυλικά απομονωμένες ζώνες, μοντέλα υδραυλικής συμπεριφοράς και ποιότητας νερού, EPANET



EXTENDED ABSTRACT

Abstract

Water distribution systems (WDS) are essential for providing reliable water supply to urban areas. This thesis presents a case study conducted in Varympompi, Greece, focusing on improving WDS performance through scenario analysis. Addressing challenges such as inefficiencies in water delivery and aging infrastructure, the study proposes interventions to enhance system resilience and efficiency. Hydraulic modeling and scenario analysis are employed to evaluate various intervention strategies and their potential impact on system performance.

Using EPANET software, the WDS of Varympompi is analyzed, allowing simulation of hydraulic behavior and water quality in pressurized pipeline networks. Implementing a variable-speed driven pump algorithm via rule-based control statements, the study explores intervention scenarios such as installing pressure sustaining valves (PSVs) and dividing the WDS into three pressure zones with installation of PSVs to address low (<30 m) and high (>50 m) pressures in the current network. These interventions aim to control pressure drop, conserve water and energy resources, and improve system efficiency.

Analyzing the outcomes of each intervention scenario, the proposed network enhancements consistently show a significant reduction in nodes experiencing either excessively low (below 30m) or high pressures (above 50m) by 60% to 94% and 43% to 47%, respectively. This marked improvement in pressure regulation translates to enhanced service reliability for consumers. Furthermore, notable reductions in stress on the pipeline infrastructure and pumping station are observed, leading to decreased operational and maintenance costs. Additionally, energy consumption decreases by 0.3% to 8.2%, with the most substantial savings achieved through PSVs installation during peak water demand periods and by extending the tank's supply duration.

These findings underscore the critical importance of implementing PSVs in the existing WDS of Varympompi, irrespective of the number of pressure zones. Moreover, the results highlight the potential for achieving energy efficiency and optimizing pressure management even in WDS with aging infrastructure, ultimately leading to improved level-of-service pressures supplied to customers and resource conservation.

Keywords: water distribution systems (WDS), service pressure, pressure zones, energy conservation, hydraulic behavior and water quality models, EPANET

1 Introduction

Water distribution systems (WDSs) play a pivotal role as fundamental infrastructure in ensuring reliable water supply to urban communities (Van Zyl, 2014). The efficient operation of these systems is crucial for meeting water demand, preserving water quality, and effectively managing energy consumption (Ostfeld et al., 2012). However, WDSs often encounter challenges such as inadequate pressure, intermittent supply, and energy inefficiencies, prompting the need for interventions to enhance their performance (Giacomello et al., 2013).

The primary aim of this thesis is to enhance the efficiency, reliability, and sustainability of an existing WDS while conserving water and energy resources. By identifying and address-

ing operational deficiencies and weaknesses within the network, this study endeavors to propose and assess corrective interventions aimed at optimizing system performance.

The focus area for this investigation is the WDS in Varympompi, Attica, Greece owned by Athens Water Supply & Sewerage Company S.A. Various intervention scenarios are explored to improve the network's operation, with particular attention to addressing issues such as very low (<30 m) and very high pressures (>50 m) at numerous consumption nodes. Additionally, the study examines the impact of increased pump energy consumption, stemming from the operation of pumps with lower energy efficiency than their potential (Georgescu et al., 2014).



Employing computational techniques, the investigation utilizes mathematical simulation models to analyze WDS behavior. These models facilitate the simulation and analysis of temporal variations in hydraulic and quality characteristics of flow within pressurized pipeline networks. The widely adopted EPANET software (Rossman, 2000) is employed for this purpose.

In the present study, the simulation of WDS in Varympompi integrates the use of variable water demands and variable-speed driven pumps to accurately replicate real-world operational conditions. Given the inherent limitations in available data, the study necessitates the formulation of assumptions based on the provided data. These assumptions play a critical role in modeling fluctuations in water demands, pump station operation, and estimating water demand in peripheral areas of the network, thereby ensuring a comprehensive simulation of the system.

The investigation evaluates two main intervention scenarios: Scenario 1 entails the installation of new equipment within the existing network, while Scenario 2 explores the division of the network into three pressure zones, followed by equipment installation. Detailed simulations under varying demand conditions and equipment settings offer valuable insights into network performance across different scenarios.

Through rigorous analysis and evaluation of intervention scenarios, this study aims to provide valuable insights into enhancing the operational efficiency and resilience of the Varympompi WDS. By identifying and addressing critical issues, it seeks to contribute to the sustainable management of water and energy resources and infrastructure.

2 Case study

Study area

The present study examines the WDS located in the area of Varympompi, Attica. Varympompi is a settlement within the Municipality of Acharnes - Thracomakedones in northeastern Attica and part of the urban complex of Athens. The studied section of the settlement consists of the neighborhoods of Varympompi (upper part) and Floga (lower part). The WDS is

characterized by relatively high differences in terrain elevations, ranging from 262 to 360 m.

The WDS is divided into two pressure zones, one in the upper part (Varympompi) and one in the lower part (Floga) of the settlement, as shown in Figure 1. It is characterized by an aging infrastructure, with pipes constructed from a variety of materials including asbestos cement (AC), cast iron, galvanized steel, polyethylene (PE), and polyvinyl chloride (PVC). Pipe sizes vary from 38.1 to 1000 mm in diameter.



Figure 1 Map of study area, Varympompi settlement, Attica, Greece.

The main components of the WDS include the New Varympompi tank, the Anoiksi tank, the SH07 pumping station, and the distribution network. Water for the studied WDS is supplied from Anoiksi tank. Anoiksi tank distributes water to the southern part of Varympompi and Floga, while simultaneously supplying water to pumping station and New Varympompi tank. The SH07 pumping station distributes water to the central and northern parts of Varympompi.

EPANET model

The numerical model is built using EPANET, a free software for hydraulic network analysis, provided by the U.S. Environmental Protection



Agency. The input data of EPANET consist of the layout, geometric and hydraulic parameters of the network, characteristic curve of the pump (head versus flow rate curve), variation pattern of water demand and base water demand and command sets (simple controls, and rule-based controls). In Figure 2, the Varympompi WDS model, constructed using EPANET, is presented.

Tanks

For simulating the Varympompi WDS using EPANET, the existence of a water supply "source" is required. The water supply "source" is introduced into EPANET as a reservoir which supplies the Anoiksi tank maintaining its level at 351.0 m.

As shown in Figure 3, New Varympompi tank (T_1), which has a maximum load of 326 m, supplies a network section outside the study area through node A_424. Simultaneously, tank T_1 is connected to the network through isolation valves V_1 and V_3, which change their status (OPEN or CLOSED) based on the water level of tank T_1.

Variable speed control of pump operation

The control of pump P_1 at pumping station SH07 is achieved by adjusting the rotational speed of the rotor. Variable speed-driven pumps ensure that pressure fluctuations in the WDS are nearly imperceptible to end-users.

No physical components were added to the model for the variable speed control of pump operation. Instead, a series of EPANET rule-based controls were implemented to simulate the pump's variable speed operation (Georgescu et al., 2015; Marchi et al., 2017). These controls are activated based on the 63 m head (setpoint) at the pump's downstream node. For the variable speed pump P_1, a set of 81 rule-based control statements were used in EPANET to adjust the frequency of the rotor between 50 and 30 Hertz (Hz) with the aim of maintaining the pressure at the downstream node at 63 m.

Base demand

Based on the provided water demand data, the existing WDS supplies 299 consumption nodes. In order to successfully simulate the current state of Varympompi WDS, two nodes, A_424 and JV_165, have been added to the

model. Node A_424 represents consumption outside the study area, while node JV_165 represents consumption that is not included in the data provided by Athens Water Supply & Sewerage Company S.A. (including large consumers and the Tatoi Airport), but still affecting the network's operation.

The year 2022 is chosen for estimating base demand. For each quarter of 2022, the average hourly flow rate of each consumption node is calculated. The 3rd quarter (period of July–August–September) is selected for having the highest consumption in 2022. The average hourly flow rate is then added as base demand at each consumption node. During the simulation, these values are multiplied by demand coefficients to adjust the base demand, reflecting the actual distribution of consumption within a 24-hour period.

As mentioned, two nodes, A_424 and JV_165, are included in the EPANET model. The consumption at these two nodes is estimated using real-time data from the pumping station.

At node A_424, consumption is assumed to be 25 L/s when valves V_1 and V_3 are opened, and tank T_1 is recharged once a day. For twice-daily tank recharging, consumption is assumed to be 50 L/s.

The consumption at node JV_165 has been estimated using two methods. Using the first method, the head-flow curve is utilized, and calculations are performed based on Figure 4 and the following real-time data: frequency = 36 Hz, suction pressure = 37.6 m, and discharge pressure = 60 m (on 21/11/2023 at 2:25:00 PM). The steps of the methodology for calculating network demand are summarized as follows:

1. Percentage of the nominal frequency:
 - $f^* = 36 \text{ Hz} \Rightarrow f^*/f_{nom} = 36/48.33 \cong 74\%$
2. Head:
 - $H_m = h_p - h_d = 60 - 37.6 = 22.4 \text{ m}$
3. Total pump discharge:
 - $Q_{tot} = 40.2 \text{ L/s}$
4. Required discharge at 2:25:00 PM:
 - $Q_{DEM} = 3.359 \text{ L/s} \times 1.144 = 3.844 \text{ L/s}$
5. Additional discharge of node JV_165:
 - $Q_{JV_{165}} = (Q_{tot} - Q_{DEM})/1.144 \cong 30 \text{ L/s}$

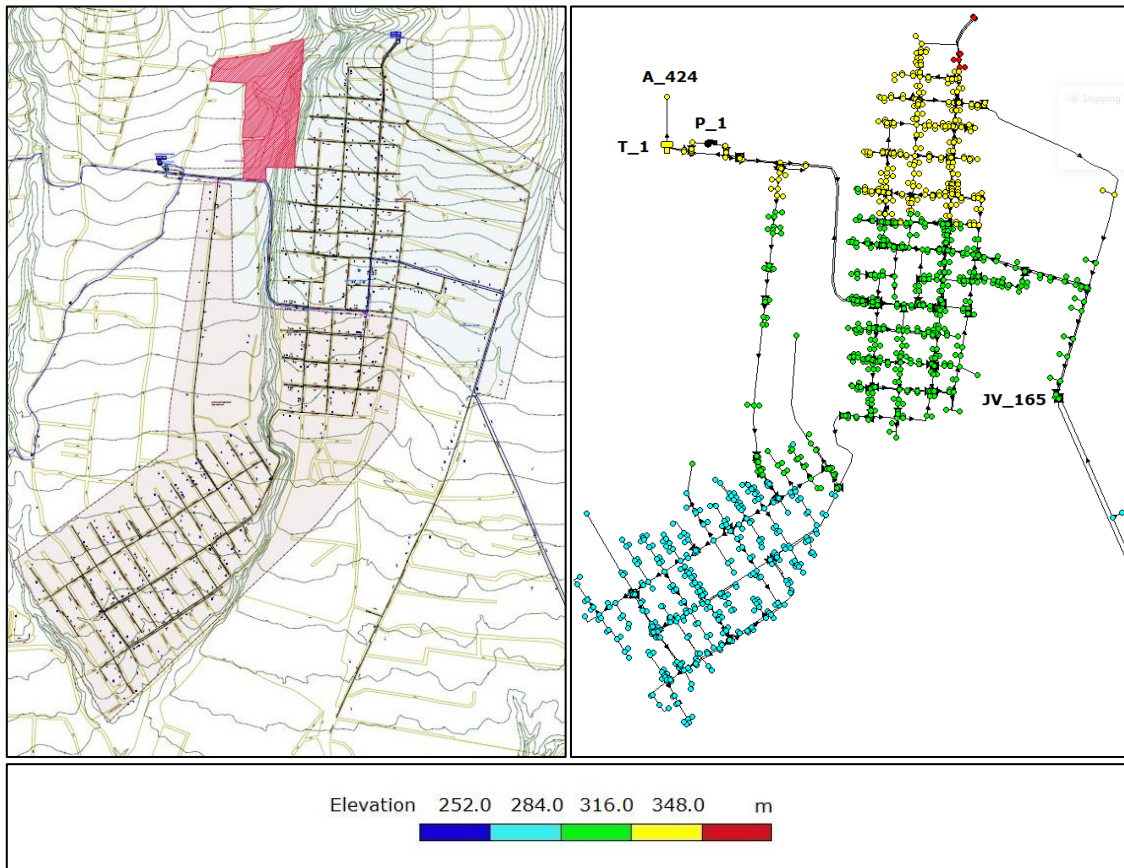


Figure 2 Map of the WDS of Varympompi and the corresponding model in EPANET. The elevation of the nodes and the arrangement of the tank (T_1), pumping station (P_1) and nodes A_424 and JV_165, are presented.

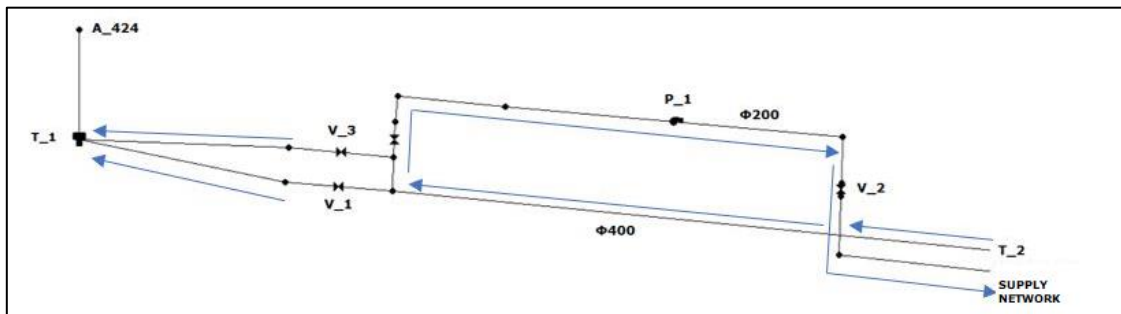


Figure 3 Schematic representation of the pump station layout and the isolation valves V_1 and V_3.

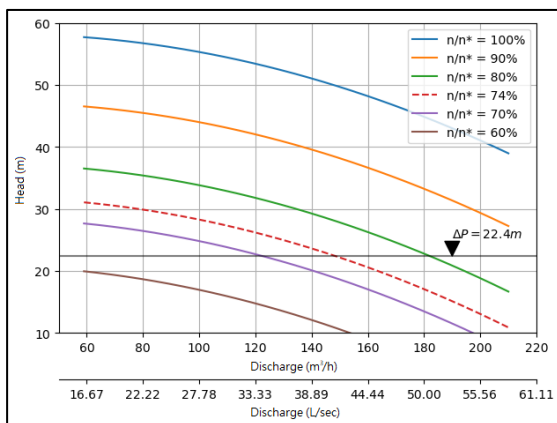


Figure 4 Pump Curve. Calculation of pump flow rate for head equal to 22.4 meters and efficiency of 74%.

Using the second method, the consumption at node JV_165 is determined to ensure that the minimum pressure at the downstream node of the pump deviates maximally from the set-point established during the simulation. This deviation may occur when the pump, operating at maximum speed, fails to meet the required head or setpoint value. It is important to note that the maximum operating speed of the pump is dictated by the maximum frequency that the inverter can provide.

Applying the second method, the estimated demand corresponds to values in the low-flow region of the pump curve. Considering the



existing status of the network and after an iterative process, the consumption is estimated to be 15 L/s, resulting in a maximum pressure drop of 1.66 m below the setpoint value (63 m). Based on these two methods, the existing network is simulated for three demand cases (see Table 1).

Table 1 Properties of cases in existing network.

Case	Demand at node	Demand at node
	A_424	JV_165
	L/s	L/s
SY1	25.0	15.0
SY2	50.0	15.0
SY2	25.0	30.0

4 The proposed network

The construction of the existing network in EPANET, along with subsequent calculations, facilitate the identification of issues within the network. Following this, suitable interventions are selected to address the identified problems.

This study investigates two intervention scenarios within the network, each applied across various cases determined by PSVs settings and external nodes' demand. For every simulation conducted, specific assumptions are made, consistent across all cases examined. The simulations are performed for a 24-hours period with a hydraulic computational time step of 5 minutes.

Intervention scenario 1 (IS-1)

In IS-1, the installation of two PSVs, upstream of valves V_1 and V_3, is proposed to regulate the pressure in the water supply network and the suction pipe of P_1. Pressure control is achieved by selecting appropriate setting values for the PSVs.

Based on this, for each demand case in the existing network (3 cases), the addition of PSVs and the selection of suitable adjustment values are conducted. Two setting values for the PSVs are chosen for each case. The smaller value represents short-term charging of tank T_1, while the larger one signifies long-term charging. Therefore, a total of six simulations (3 demand cases × 2 setting values) are conducted in IS-1. The properties of the six cases for the proposed network are detailed in Table 2.

Table 2 Properties of cases in IS-1.

Case	Demand at node	Demand at node	PSVs Setting
	A_424	JV_165	m
	L/s	L/s	
SE1	25.0	15.0	21.0
SE4	25.0	15.0	25.3
SE2	50.0	15.0	17.8
SE5	50.0	15.0	21.5
SE3	25.0	30.0	18.5
SE6	25.0	30.0	23.2

The setting values of the PSVs are determined through trial calculations, ensuring that the tank T_1 reaches full capacity by the end of each day (24-hour simulation). Furthermore, adjustments are made to the settings that alternate the operational status of valves V_1 and V_3 (OPEN or CLOSED), as outlined in Table 3, to prevent tank T_1 overflow.

Table 3 Setting of valves V_1 and V_3 in IS-1.

Cases	V_1 and V_2	V_1 and V_2
	opening level	closing level
	m	m
SE1, SE2, SE3	1.35	4.275
SE4, SE5, SE6	3.90	4.275

Intervention scenario 2 (IS-2)

In IS-2, the network is divided into three pressure zones achieved by implementing a series of interventions. These include adding isolation and pressure reduction valves (PRVs), altering the operational status of existing valves, and introducing new pipes. IS-2 is applying in case SY1 of the existing network. The three zones and their attributes are presented in Figure 6 and Table 4.

Table 4 Attributes of pressure zones.

Attributes	Pressure zones		
	Z1	Z2	Z3
Head regulator	Pump station	PRV, Setting=40	PRV, Setting=32
Elevation (m)	310.39 - 350.07	284.00 - 312.07	261.43 - 287.27
Head (m)	+318	+342	+386

Subsequently, PSVs are added to the network following the approach described in IS-1. IS-2 is



simulated for three cases, the properties of which are presented in Table 5.

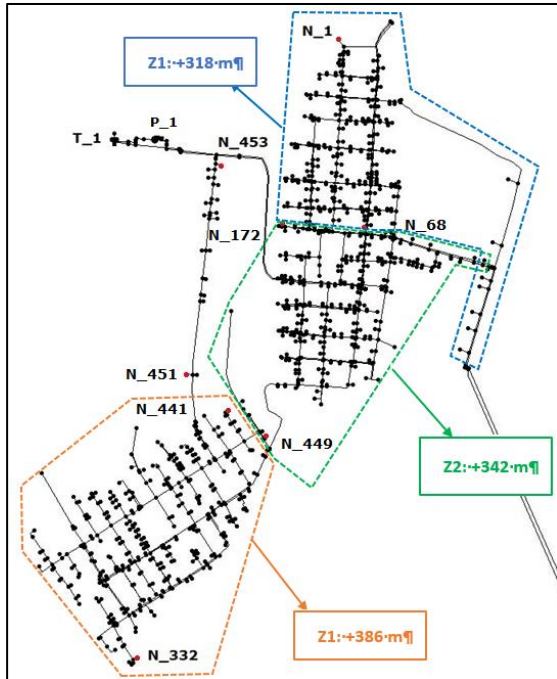


Figure 5 Schematic representation of pressure zones Z1, Z2 and Z3 in Varympompi WDS.

Table 5 Properties of cases in IS-2.

Case	Demand at node A_424	Demand at node JV_165	PSVs Setting
	L/s	L/s	
S1	25.0	15.0	-
S2	25.0	15.0	21
S2	25.0	15.0	25.3

4. Results

Existing WDS

During the analysis of the existing network, issues regarding pressure levels at consumption nodes were identified. A notable number of consumption nodes experienced both very low and very high pressures.

Specifically, when water is supplied to the T₁ tank, a significant pressure drop occurs, ranging from 26.3-27.7 m affecting Floga network and the area upstream of P₁. Consequently, the suction pressure at P₁ decrease to 3.0 m.

A considerable portion of the 299 consumption nodes operate outside desired pressure thresholds, with approximately 10-15% registering pressures below 30 m and 40-56% experiencing pressures exceeding 50 m

during T₁ tank water supply. When T₁ tank is full, these figures shift slightly, with 3% of nodes below 30 m and 67% above 50 m. Overall, only 30-45% of total consumption nodes maintain pressures within desired limits (Figure 6).

The pumping station's operation deviates from its nominal point, with the inverter adjusting operation to maintain a discharge pressure of 63.0 m. However, compensating for pressure drops during T₁ tank charging requires increasing the frequency to the maximum (50 Hz), which exceeds the pumping station's power capacity, resulting in a discharge pressure below the set point. The energy consumption at the existing network is ranging from 306.6 kW to 463.3 kW (Table 6).

Intervention scenario 1

Applying IS-1, there is a reduction in pressure drop at consumption nodes and the pumping station. During the charging of T₁ tank, a controlled pressure drop ranging from 2.9 m to 9.8 m is induced. Moreover, the number of consumption nodes with pressure below 30 m decreases by 60-72%. In total 30-39% of nodes operate within the desired pressure limits (Figure 6)

The maximum operating frequency of the inverter is 45.8 Hz, which is lower than the maximum operating frequency in the existing network (50 Hz).

Furthermore, as shown in Table 6 energy consumption is reduced by 0.3-8.2% compared to the existing network, with the highest savings observed in cases with higher water demand (SE2, SE5).

Intervention scenario 2

Pressure zone division

By the division of the existing network in three pressure zones, there is a notable decline in pressure observed at consumption nodes and the pumping station during the filling process of T₁ tank, particularly evident in zones Z2 and Z3. Also, the suction pressure of the pumping station diminishes to 0.22 m.

Furthermore, there is a marked increase in the number of consumers experiencing pressure levels below 30 m, indicating a rise of 142% within the proposed network. Additionally, consuming nodes with pressure above 50 m,



decrease by 43-56%. In total 43-58% of nodes operate within the desired pressure limits (Figure 7).

Moreover, the operational dynamics of the pumping station deviate from the designated parameters due to insufficient power capacity. Consequently, the discharge pressure falls below the prescribed set point when compensating for pressure variations.

Finally, energy consumption exhibits a decline of 1% compared to the existing network, attributable to the pumping station supplying to a reduced number of nodes (Table 6).

PSVs addition

Credited to the incorporation of PSVs into the IS-2, a reduction in pressure drop at network nodes and P_1 is observed. During the charging of T_1 tank, a controlled pressure drop ranging from 2.9-6.7 m is induced, the number of consumption nodes with pressure below 30 m decreases by 81-94%, and the number of consumers with pressure exceeding 50 m decreases by 43-47% (Figure 7). In total 59% of nodes have pressure within the desired limits.

In addition, the maximum operating frequency of the inverter is 41.7 Hz, which is lower than that of the existing network (50 Hz).

Ultimately, energy consumption is reduced by 4-6%, with the highest savings observed in case S3 (Table 6).

Table 6 Energy conservation. Comparison of existing and proposed network.

Energy consumption				
Existing network		Proposed network		Reduction rate
	kWh		kWh	%
SY1	300.6	SE1	293.7	2.3
		SE4	288.9	3.9
SY2	343.4	SE2	323.3	5.9
		SE5	315.3	8.2
SY3	463.3	SE3	461.8	0.3
		SE6	456.4	1.5
SY1	300.6	S1	296.7	1
		S2	288.9	4
		S3	283.9	6

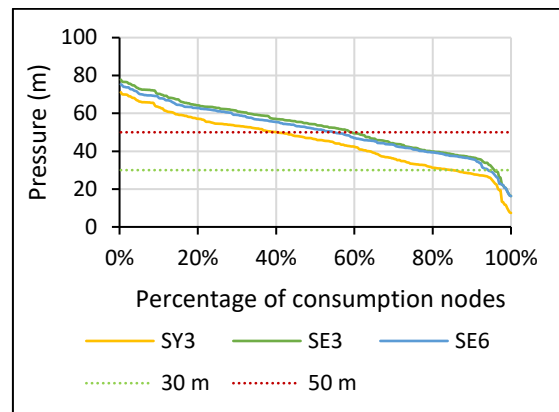
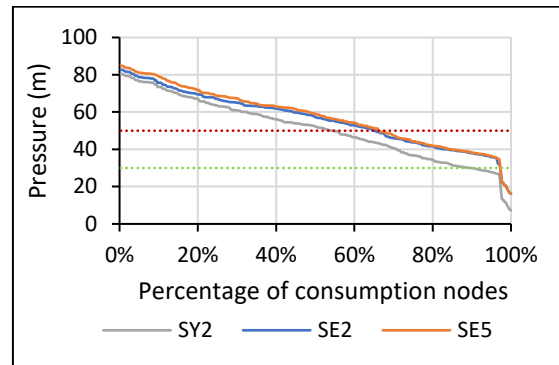
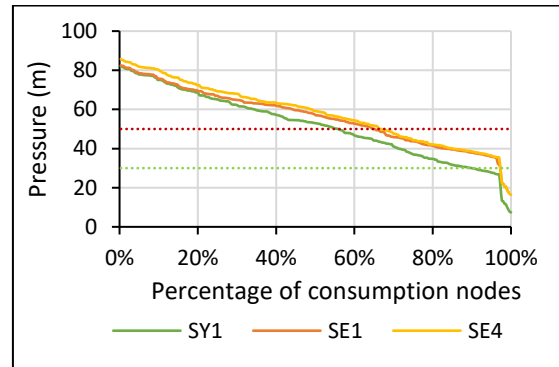


Figure 6 Distribution of pressure in consumption nodes. Comparison of existing and IS-1 network.

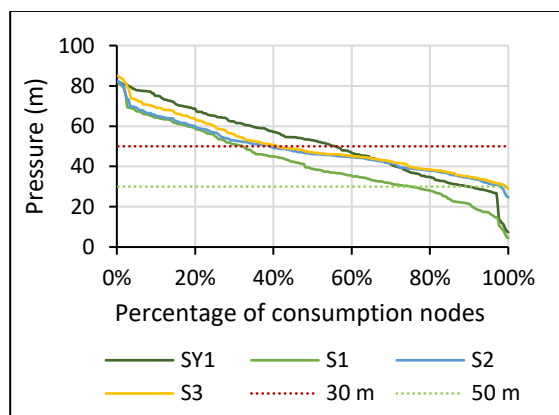


Figure 7 Distribution of pressure in consumption nodes. Comparison of existing and IS-2 network.



5. Conclusion

In conclusion, addressing pressure drop issues within the Varympompi WDS proves crucial for enhancing operational efficiency and conserving energy. The implementation of PSVs emerges as a pivotal solution to tackle pressure drop issues, alleviate strain on infrastructure and elevate service quality. PSVs offer various benefits, including decreased energy consumption and enhanced pressure regulation. Comparative analysis favors IS-2, underscoring the significance of tailored interventions for optimizing system performance. In summary, the proposed interventions, particularly the installation of PSVs, present a viable solution for augmenting the efficiency, reliability, and sustainability of the Varympompi WDS. By leveraging advanced hydraulic modeling techniques, this study contributes to the optimization of existing WDSs and the preservation of water and energy resources.

References

1. Georgescu, A.M., Georgescu, S.C., Cosoiu, C.I., Hasegan, L., Anton, A. & Bucur, D.M. (2015). EPANET Simulation of Control Methods for Centrifugal Pumps Operating under Variable System Demand, *Procedia Engineering*, 119, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.995
2. Giacomello, C., Kapelan, Z., & Nicolini, M. (2013). Energy management in water distribution systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.011>
3. Marchi, A., Simpson, A.R., Lambert, M.F. (2017). Pump operation optimization using rule-based controls, *Procedia Engineering*, 186, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.229
4. Ostfeld, A., Salomons, E., & Ormsbee, L. (2012). Reliability and risk assessment in water distribution systems. *Urban Water Journal*, 9(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.645592>
5. Rossman L.A. (2000). EPANET 2, USERS

MANUAL. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268.

6. Van Zyl, J. E. (2014). Introduction to operation and maintenance of water distribution systems. *Procedia Engineering*, 89, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.001>



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
EXTENDED ABSTRACT	iii
Abstract	iii
1 Introduction.....	iii
2 Case study.....	iv
Study area.....	iv
EPANET model	iv
Tanks.....	v
Variable speed control of pump operation	v
Base demand.....	v
4 The proposed network	vii
Intervention scenario 1 (IS-1)	vii
Intervention scenario 2 (IS-2)	vii
4. Results	viii
Existing WDS.....	viii
5. Conclusion	x
References	x
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xv
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	xviii
ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	xx
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας	1
1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	1
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	3
2.1 Το σύστημα ύδρευσης και τα επιμέρους έργα	3
2.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας της δεξαμενής ρύθμισης.....	3
2.3 Βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας του δικτύου διανομής.....	3
2.4 Μορφή Δικτύων	5
2.5 Αγωγοί του δικτύου διανομής νερού.....	6
2.5.1 Υλικά αγωγών δικτύου διανομής.....	6
2.5.2 Διάμετρος αγωγών συστήματος ύδρευσης	6
2.5.3 Ισοδύναμη τραχύτητα αγωγών	7
2.6 Υδραυλικά εξαρτήματα του δικτύου διανομής νερού	7
2.7 Αντλητικές διατάξεις	8
2.7.1 Αντλιοστάσια.....	8



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET

2.7.2	Ωστικά αντλιοστάσια	8
2.7.3	Μετατροπείας συχνότητας	9
2.8	Πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου διανομής	9
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ	10
3.1	Το σύστημα ύδρευσης του οικισμού της Βαρυμπόμπης Αττικής	10
3.2	Δεξαμενές του συστήματος ύδρευσης	12
3.2.1	Δεξαμενή Άνοιξης.....	12
3.2.2	Δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης	12
3.3	Αντλητικό συγκρότημα SH07.....	13
3.4	Αγωγοί του δικτύου διανομής	14
4	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	15
4.1	Επιλογή του μοντέλου και διαδικασία μαθηματικής προσομοίωσης	15
4.1.1	Επιλογή του μοντέλου EPANET	15
4.1.2	Οι εξισώσεις του μοντέλου EPANET.....	15
4.1.3	Επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου EPANET	15
4.1.4	Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά δικτύου	16
4.1.5	Διαδικασία προσομοίωσης με το μοντέλο EPANET	16
4.2	Σχηματική απεικόνιση του δικτύου	16
4.3	Εισαγωγή δεδομένων.....	17
4.3.1	Δεδομένα δεξαμενών.....	17
4.3.2	Δεδομένα αντλιών του δικτύου	17
4.3.3	Δεδομένα κόμβων του δικτύου	18
4.3.4	Δεδομένα πηγών, ταμειυτήρων και φρεατίων νερού	18
4.3.5	Δεδομένα αγωγών του δικτύου	19
4.3.6	Δεδομένα δικλίδων του δικτύου.....	19
4.4	Καθορισμός παραμέτρων συμπεριφοράς και λειτουργίας του δικτύου	20
4.4.1	Καθορισμός χαρακτηριστικών καμπυλών αντικειμένων του δικτύου.....	20
4.4.2	Καθορισμός προτύπων χρονικής διακύμανσης δεδομένων του δικτύου	20
4.4.3	Καθορισμός κανόνων λειτουργίας αντικειμένων του δικτύου.....	20
4.4.4	Καθορισμός τιμών γενικών παραμέτρων των υπολογισμών	20
5	ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ.....	22
5.1	Εισαγωγή	22
5.2	Δεδομένα του μοντέλου του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.....	22
5.3	Δεδομένα των δεξαμενών.....	23
5.4	Δεδομένα του αντλητικού συγκροτήματος.....	23
5.4.1	Δεδομένα αντλιών.....	23
5.4.2	Δεδομένα μετατροπέα συχνότητας	25
5.4.3	Υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας του αντλητικού συγκροτήματος.....	27



**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET**

5.5	Δεδομένα των κόμβων του δικτύου.....	28
5.5.1	Κόμβοι κατανάλωσης με δεδομένα ζήτησης	28
5.5.2	Κόμβοι κατανάλωσης χωρίς δεδομένα ζήτησης	29
5.5.3	Ημερήσια κατανομή της ζήτησης.....	31
5.6	Χαρακτηριστικά των δικλίδων	31
5.7	Χαρακτηριστικά των αγωγών του δικτύου	31
6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ.....	33
6.1	Συνοπτική περιγραφή και συνιστώσες του υφιστάμενου δικτύου	33
6.2	Υδραυλικά απομονωμένες ζώνες του δικτύου	35
6.2.1	Ζώνες του δικτύου	35
6.2.2	Κρίσιμες δικλίδες του δικτύου	36
6.3	Παραδοχές υπολογισμών του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης	37
6.4	Υπολογισμοί υφιστάμενου δικτύου.....	37
6.4.1	Στατικές πιέσεις στους κόμβους του δικτύου	38
6.4.2	Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου	39
6.4.3	Χρονική μεταβολή υδραυλικού φορτίου δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης	40
6.4.4	Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.....	41
6.4.5	Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης.....	43
6.4.6	Κατανάλωση ενέργειας στο προτεινόμενο δίκτυο	44
6.5	Σχολιασμός υπολογισμών υφιστάμενου δικτύου.....	45
7	ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ 1: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΚΛΙΔΩΝ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	46
7.1	Σενάρια προτεινόμενων επεμβάσεων	46
7.2	Υπολογισμοί προτεινόμενου δικτύου	46
7.2.1	Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου	47
7.2.2	Χρονική μεταβολή υδραυλικού φορτίου δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης	50
7.2.3	Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.....	52
7.2.4	Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης.....	54
7.2.5	Κατανάλωση ενέργειας στο προτεινόμενο δίκτυο	56
7.3	Σχολιασμός υπολογισμών προτεινόμενου δικτύου	57
8	ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ 2: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ.....	58
8.1	Διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις υδραυλικές ζώνες απομόνωσης.....	58
8.1.1	Ζώνες του δικτύου	58
8.1.2	Επεμβάσεις προτεινόμενου δικτύου	59
8.2	Σενάρια υπολογισμών.....	61
8.3	Υπολογισμοί προτεινόμενου δικτύου	61
8.3.1	Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου	62



**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET**

8.3.2	Χρονική μεταβολή υδραυλικού φορτίου δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης	64
8.3.3	Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.....	65
8.3.4	Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης.....	67
8.3.5	Κατανάλωση ενέργειας στο προτεινόμενο δίκτυο	68
8.4	Σχολιασμός υπολογισμών προτεινόμενου δικτύου	69
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	70
9.1	Συμπεράσματα	70
9.1.1	Υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης.....	70
9.1.1	Σενάριο επεμβάσεων 1	70
9.1.2	Σενάριο επεμβάσεων 2	71
9.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	73
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	76



ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1 Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για τη μαθηματική προσομοίωση του δικτύου	2
Εικόνα 2-1 Διάταξη αγωγών δικτύου διανομής νερού (α) βροχωτά και (β) ακτινωτά δίκτυα (Μακρόπουλος κ.α., 2019).....	5
Εικόνα 3-1 Χάρτης περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Earth Pro).....	10
Εικόνα 3-2 Απεικόνιση του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης Αττικής (Πηγή: Υδρονομείο ΕΥΔΑΠ).....	11
Εικόνα 3-3 Σκαρίφημα της δεξαμενής Άνοιξης και της σύνδεσής της με το δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης (Πηγή: Υπηρεσία Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών της ΕΥΔΑΠ).....	12
Εικόνα 3-4 Γενικό σχέδιο των εγκαταστάσεων αντλητικού συγκροτήματος SH07.....	13
Εικόνα 3-5 Εσωτερική διάταξη αντλητικού συγκροτήματος SH07 (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ, μετά από προσαρμογή).....	14
Εικόνα 3-6 Φωτογραφία της αντλίας P4 (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ).	14
Εικόνα 4-1 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων δεξαμενής.....	17
Εικόνα 4-2 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων αντλίας (αριστερά) και παράθυρο προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης της (δεξιά).	17
Εικόνα 4-3 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων κόμβου.....	18
Εικόνα 4-4 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων ταμιευτήρα.	18
Εικόνα 4-5 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων αγωγού.	19
Εικόνα 4-6 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για δικλίδες μείωσης πίεσης (αριστερά) και απομόνωσης (δεξιά).....	19
Εικόνα 5-1 Καμπύλη μονομετρικού ύψους – παροχής για διαφορετικές στροφές.	24
Εικόνα 5-2 Γράφημα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας της αντλίας P4 (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ).	25
Εικόνα 5-3 Καμπύλη παροχής-απόδοσης για διαφορετικές στροφές λειτουργίας.....	27
Εικόνα 5-4 Τριμηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2019-2022.....	29
Εικόνα 5-5 Υπολογισμός παροχής αντλίας για μονομετρικό ύψος ίσο με 22.4 m και $f^*=74\%$	30
Εικόνα 5-6 Πρότυπο ημερήσιας μεταβολής της ζήτησης κατά τη θερινή περίοδο.	31
Εικόνα 6-1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ύδρευσης Βαρυμπόμπης με τα υψόμετρα των κόμβων και τη διάταξη των δεξαμενών και του αντλιοστασίου.	33



Εικόνα 6-2 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ύδρευσης Βαρυμπόμπης με τα υψόμετρα των κόμβων στη Φλόγα και τη Βαρυμπόμπη.	34
Εικόνα 6-3 Σχηματική απεικόνιση της διάταξης του αντλιοστασίου και των δικλίδων V_1 και V_3.	35
Εικόνα 6-4 Σχηματική απεικόνιση των υδραυλικά απομονωμένων ζωνών Z1 και Z2 και των χαρακτηριστικών κόμβων του δικτύου ύδρευσης Βαρυμπόμπης.	35
Εικόνα 6-5 Οι θέσεις των κρίσιμων δικλίδων στο δίκτυο ύδρευσης Βαρυμπόμπης.	36
Εικόνα 6-6 Στατικές πιέσεις του υφιστάμενου δικτύου (α) χωρίς και (β) με αντλιοστάσιο.	38
Εικόνα 6-7 Μέγιστες (1α, 1β και 1γ) και ελάχιστες (2α, 2β και 2γ) πιέσεις στους κόμβους του υφιστάμενου δικτύου για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2 και (γ) ΣΥ3.	39
Εικόνα 6-8 Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής T_1 για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2, και (γ) ΣΥ3.	41
Εικόνα 6-9 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2, και (γ) ΣΥ3.	42
Εικόνα 6-10 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2, και (γ) ΣΥ3.	43
Εικόνα 7-1 Μέγιστες (1α, 1β και 1γ) και ελάχιστες (2α, 2β και 2γ) πιέσεις στους κόμβους του προτεινόμενου δικτύου για τα σενάρια (α) ΣΕ1, (β) ΣΕ2 και (γ) ΣΕ3.	47
Εικόνα 7-2 Μέγιστες (1α, 1β και 1γ) και ελάχιστες (2α, 2β και 2γ) πιέσεις στους κόμβους του προτεινόμενου δικτύου για τα σενάρια (α) ΣΕ4, (β) ΣΕ5 και (γ) ΣΕ6.	48
Εικόνα 7-3 Ποσοστό κόμβων κατανάλωσης ανά πίεση. Σύγκριση υφιστάμενου με το δίκτυο του σεναρίου επεμβάσεων 1.	50
Εικόνα 7-4 Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής T_1 για τα σενάρια (α) ΣΕ1 και ΣΕ4, (β) ΣΕ2 και ΣΕ5 και (γ) ΣΕ3 και ΣΕ6.	51
Εικόνα 7-5 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας για τα σενάρια (α) ΣΕ1, (β) ΣΕ2 και (γ) ΣΕ3.	52
Εικόνα 7-6 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας για τα σενάρια (α) ΣΕ4, (β) ΣΕ5 και (γ) ΣΕ6.	53
Εικόνα 7-7 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) ΣΕ1, (β) ΣΕ2 και (γ) ΣΕ3.	54
Εικόνα 7-8 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) ΣΕ4, (β) ΣΕ5 και (γ) ΣΕ6.	55
Εικόνα 8-1 Σχηματική απεικόνιση των υδραυλικά απομονωμένων ζωνών Z1, Z2 και Z3 και των χαρακτηριστικών κόμβων του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.	58
Εικόνα 8-2 Σχηματική απεικόνιση των επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στο δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης για το σενάριο επεμβάσεων 2.	60



**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET**

Εικόνα 8-3 Ελάχιστες (1α, 2α, 3α) και μέγιστες (1β, 2β και 3β) πιέσεις στους κόμβους του προτεινόμενου δικτύου για τα σενάρια (1) Σ1, (2) Σ2 και (3) Σ3. 62

Εικόνα 8-4 Ποσοστό κόμβων κατανάλωσης ανά πίεση. Σύγκριση υφιστάμενου δικτύου με το δίκτυο του σεναρίου επεμβάσεων 2. 64

Εικόνα 8-5 Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής T_1 για τα σενάρια (α) Σ1, (β) Σ2, και (γ) Σ3. 65

Εικόνα 8-6 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας για τα σενάρια (α) Σ1, (β) Σ2, και (γ) Σ3. 66

Εικόνα 8-7 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) Σ1, (β) Σ2, και (γ) Σ3. 67



ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1	Τυπικές τιμές τραχύτητας (Παντζάλης, 2017; Νάνου-Γιάνναρου, 2018).....	7
Πίνακας 3-1	Χαρακτηριστικά των αντλιών του αντλητικού συγκροτήματος SH07.	13
Πίνακας 3-2	Ονομαστικές διαμέτροι των αγωγών του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.....	14
Πίνακας 4-1	Τα έξι αντικείμενα του δικτύου.....	16
Πίνακας 5-1	Δεδομένα των δεξαμενών του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης που εισήχθησαν στο μοντέλο του EPANET.	23
Πίνακας 5-2	Τα χαρακτηριστικά των αντλιών P4 και P5 του αντλητικού συγκροτήματος SH07.....	24
Πίνακας 5-3	Δεδομένα πίεσης αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας P4.....	24
Πίνακας 5-4	Δεδομένα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας της αντλίας P4.....	25
Πίνακας 5-5	Τριμηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2019 – 2022.....	29
Πίνακας 5-6:	Ισοδύναμη τραχύτητα για διάφορα υλικά αγωγών.	32
Πίνακας 6-1	Οι χαρακτηριστικοί κόμβοι του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης Βαρυμπόμπης.	36
Πίνακας 6-2	Κατάσταση λειτουργίας κρίσιμων δικλίδων στο υφιστάμενο δίκτυο.	36
Πίνακας 6-3	Χαρακτηριστικά σεναρίων ζήτησης για τον υπολογισμό υφιστάμενης κατάστασης..	37
Πίνακας 6-4	Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΥ1, ΣΥ2 και ΣΥ3	40
Πίνακας 6-5	Κατανάλωση ενέργειας του υφιστάμενου δικτύου.....	44
Πίνακας 7-1	Χαρακτηριστικά σεναρίων υπολογισμών του προτεινόμενου δικτύου.	46
Πίνακας 7-2	Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΕ1 και ΣΕ4.	49
Πίνακας 7-3	Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΕ2 και ΣΕ5.	49
Πίνακας 7-4	Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΕ2 και ΣΕ5.	49
Πίνακας 7-5	Σύγκριση υφιστάμενου με προτεινόμενο δίκτυο. Ποσοστό μείωσης των κόμβων κατανάλωσης νερού με πίεση < 30 m.	50
Πίνακας 7-6	Κατανάλωση ενέργειας του προτεινόμενου δικτύου.....	56
Πίνακας 7-7	Κατανάλωση ενέργειας στο υφιστάμενο και το προτεινόμενο δίκτυο.	56
Πίνακας 8-1	Οι χαρακτηριστικοί κόμβοι του προτεινόμενου δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.	59



**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET**

Πίνακας 8-2 Οι επεμβάσεις που εφαρμόστηκαν για τη διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις ζώνες.	59
Πίνακας 8-3 Τα χαρακτηριστικά των ζωνών Z1, Z2 και Z3.	61
Πίνακας 8-4 Χαρακτηριστικά σεναρίων υπολογισμών του προτεινόμενου δικτύου.	61
Πίνακας 8-5 Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΥ1, Σ1, Σ2 και Σ3.	63
Πίνακας 8-6 Κατανάλωση ενέργειας του προτεινόμενου δικτύου.	68
Πίνακας 8-7 Κατανάλωση ενέργειας στο υφιστάμενο και το προτεινόμενο δίκτυο.	68
Πίνακας Π 1 Διάμετροι αγωγών από χάλυβα (DIN 24400/1).	76
Πίνακας Π 2 Διάμετροι αμιαντοτσιμεντοσωλήνων (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017).	76
Πίνακας Π 3 Διάμετροι αγωγών PVC (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017; ΕΛΟΤ 1452-2).	77
Πίνακας Π 4 Διάμετροι αγωγών από HDPE (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017).	77
Πίνακας Π 5 Ζεύγη τιμών της καμπύλης παροχής-μανομετρικού ύψους στις ονομαστικές στροφές (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ).	78
Πίνακας Π 6 Τα χαρακτηριστικά των αγωγών που εισήχθησαν στο μοντέλο EPANET.	78



ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Σύμβολο	Μονάδες	Ονομασία
f^*	Hz	Συχνότητα λειτουργίας
f_{nom}	Hz	Ονομαστική συχνότητα λειτουργίας
g	m/s^2	Επιτάχυνση της βαρύτητας
H	m	Μανομετρικό ύψος
n	-	Στροφές λειτουργίας αντλίας
n^*	-	Ονομαστικές στροφές λειτουργίας αντλίας
p_{min}	Pa	Ελάχιστη πίεση στο έδαφος
Q	m^3/h	Παροχή
Q^*	m^3/h	Παροχή σε ονομαστικές στροφές
Δt	min	Χρονική διάρκεια υπολογισμού ενέργειας
η	-	Απόδοση στις στροφές λειτουργίας
η^*	-	Απόδοση στις ονομαστικές στροφές λειτουργίας
η_{other}	-	Απόδοση υπολοίπων διατάξεων
ρ	kg/m^3	Πυκνότητα νερού

Συμβολισμός	Ονομασία
DEM	Digital Elevation Model
DP	Drakos Polemis
EPA	United States Environmental Protection Agency Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών
EPSG:2100	European Petroleum Survey Group
FCVs	Flow Control Valves
ITA	Instituto Tecnológico del Agua Τεχνολογικό Ινστιτούτο Νερού
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
P_1	Αντλιοστάσιο SH07
PRVs	Pressure Reducing Valves
PSVs	Pressure Sustaining Valves
QGIS	Quantum Geographical Information System
R_1	Πηγή παροχής νερού - Ταμειυτήρας
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
T_1	Δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης
T_2	Δεξαμενή Άνοιξης
UPV	Universitat Politecnica di Vanencia Πολυτεχνείο της Βαλένθια
ΑΣΥ	Ανώτατης στάθμης ύδατος
ΕΓΣΑ' 87	Ελληνικού Συστήματος Γεωγραφικών Συντεταγμένων
ΕΥΔΑΠ	Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας
ΚΣΥ	Κατώτατη στάθμης ύδατος



1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μαθηματική προσομοίωση του συστήματος ύδρευσης στη Βαρυμπόμη Αττικής με το μοντέλο EPANET (Rossman, 2000).

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίτευξη αποδοτικότερης, οικονομικότερης και περισσότερο αξιόπιστης λειτουργίας υφιστάμενων συστημάτων ύδρευσης, εξοικονομώντας υδατικούς και ενεργειακούς πόρους και διατηρώντας τις πιέσεις των συστημάτων αυτών σε αποδεκτά όρια κατά το χρονικό διάστημα της λειτουργίας τους. Στα συστήματα ύδρευσης η ενέργεια καταναλώνεται με σκοπό την άντληση του νερού, την επεξεργασία του και τη διανομή του στους καταναλωτές.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εντοπίζονται προβλήματα και αδυναμίες της λειτουργίας ενός υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης και προτείνονται διορθωτικές επεμβάσεις για την αντιμετώπισή τους.

Η διερεύνηση πραγματοποιείται υπολογιστικά με τη μαθηματική προσομοίωση των συστημάτων ύδρευσης χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα, τα οποία επιλύουν και προσομοιώνουν τη χρονική μεταβολή των υδραυλικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής στα δίκτυα των αγωγών υπό πίεση. Η χρήση των μαθηματικών μοντέλων επιτρέπει τη λήψη ορθολογικών τεχνοοικονομικών αποφάσεων που σκοπεύουν στη βιώσιμη διαχείριση των συστημάτων ύδρευσης. Στην παρούσα διερεύνηση χρησιμοποιείται το ευρέως εφαρμοζόμενο μαθηματικό μοντέλο EPANET.

Το σύστημα ύδρευσης που επιλέχθηκε να εξεταστεί είναι το σύστημα ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ στη Βαρυμπόμη Αττικής. Γενικά, στο υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμης μπορεί να διερευνηθούν πολλοί συνδυασμοί επεμβάσεων για τη βελτίωση της λειτουργίας του. Στην παρούσα διπλωματική περιγράφεται ενδεικτικά η αντιμετώπιση του προβλήματος των πολύ χαμηλών πιέσεων (<30m) και πολύ υψηλών πιέσεων (>50 m) σε σημαντικό αριθμό κόμβων κατανάλωσης (δηλ. καταναλωτών του δικτύου), που προσδιορίστηκαν κατά τους υπολογισμούς του υφιστάμενου δικτύου.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου διερευνούνται δύο σενάρια επεμβάσεων στο δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμης. Στο σενάριο επεμβάσεων 1 εξετάζεται η εγκατάσταση νέου εξοπλισμού στο υφιστάμενο δίκτυο. Το προτεινόμενο δίκτυο προσομοιώνεται σε διαφορετικές συνθήκες ζήτησης και με διαφορετικές ρυθμίσεις του νέου εξοπλισμού, με στόχο την πλήρη κατανόηση της λειτουργίας του δικτύου υπό διαφορετικές συνθήκες. Στο σενάριο επεμβάσεων 2 πραγματοποιείται μελέτη διαχωρισμού του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης σε τρεις επιμέρους υδραυλικά απομονωμένες ζώνες και στη συνέχεια, εξετάζεται η εγκατάσταση νέου εξοπλισμού. Το προτεινόμενο δίκτυο προσομοιώνεται υπό μία συνθήκη ζήτησης και με διαφορετικές ρυθμίσεις του νέου εξοπλισμού.

1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας και μεθοδολογία

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από εννιά Κεφάλαια, τη Βιβλιογραφία και το Παράρτημα.

Στο παρόν **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζονται το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται βασικές έννοιες των συστημάτων ύδρευσης και στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ύδρευσης της Βαρυμπόμης Αττικής.



Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται το μοντέλο EPANET, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη προσομοίωση του συστήματος ύδρευσης της Βαρυμπόμπης Αττικής, μαζί με τις βασικές αρχές λειτουργίας του λογισμικού αυτού, τις δυνατότητές του και τον τρόπο εργασίας στο περιβάλλον του.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο του δικτύου της Βαρυμπόμπης Αττικής, περιλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των κόμβων, των αγωγών, των δεξαμενών, των αντλιοστασίων, καθώς και πρόσφατων καταναλώσεων νερού και η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την εισαγωγή τους στο μοντέλο EPANET.

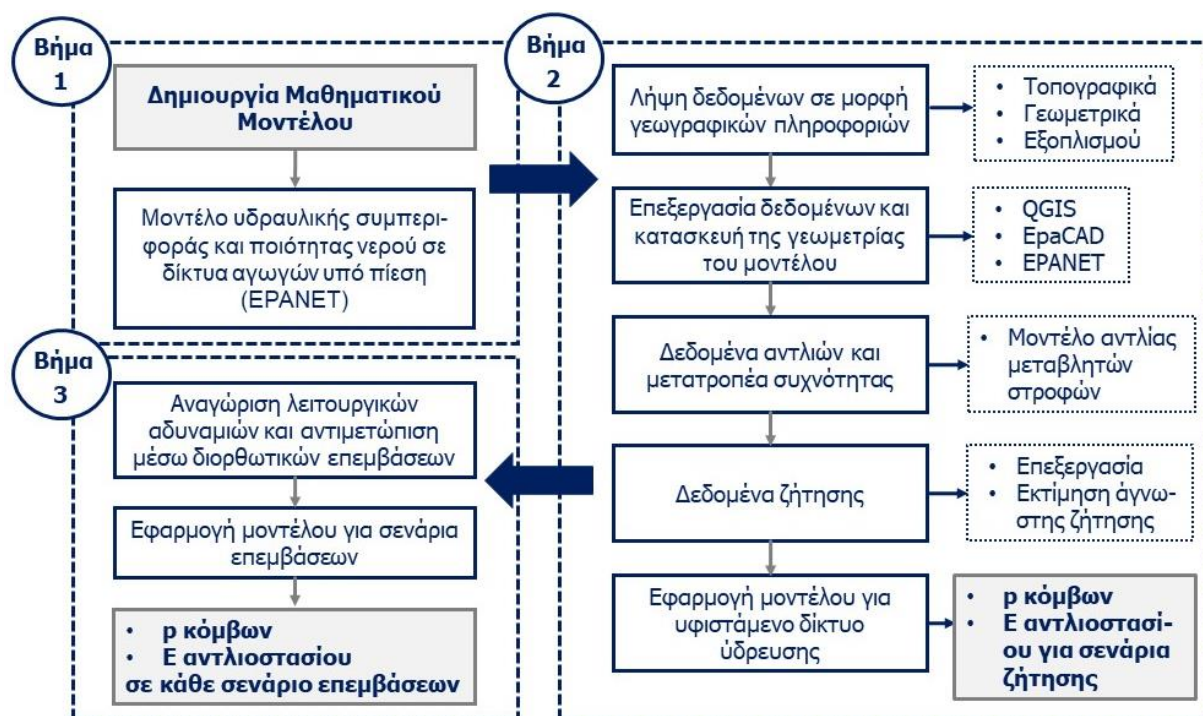
Στο **Κεφάλαιο 6** περιλαμβάνεται η σχηματική απεικόνιση του δικτύου στο μοντέλο EPANET, οι παραδοχές για την μοντελοποίηση και την κατάρτιση των σεναρίων υπολογισμών για το υφιστάμενο σύστημα ύδρευσης, καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα με τον σχολιασμό τους.

Στο **Κεφάλαιο 7** περιγράφονται οι υπολογισμοί του σεναρίου επεμβάσεων 1 του προτεινόμενου δικτύου της Βαρυμπόμπης και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα με τον σχολιασμό τους.

Στο **Κεφάλαιο 8** περιγράφονται οι υπολογισμοί του σεναρίου επεμβάσεων 2 του προτεινόμενου δικτύου της Βαρυμπόμπης και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα με τον σχολιασμό τους.

Στο **Κεφάλαιο 9** παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα για τη λειτουργία του υφιστάμενου συστήματος ύδρευσης αλλά και οι ωφέλειες από τις προτεινόμενες επεμβάσεις σε αυτό, ενώ συγκρίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Επιπλέον, αναφέρονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται στο διάγραμμα ροής της Εικόνας 1-1.



Εικόνα 1-1 Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για τη μαθηματική προσομοίωση του δικτύου



2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

2.1 Το σύστημα ύδρευσης και τα επιμέρους έργα

Τα συστήματα ύδρευσης εξυπηρετούν τις ανάγκες των οικισμών και των αστικών κέντρων σε νερό, στοχεύοντας στην εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού, σε επαρκή ποσότητα και ποιότητα, καθώς και στη μεταφορά και διανομή του με υψηλή αξιοπιστία (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007).

Ένα υδροδοτικό σύστημα ή απλά έργο ύδρευσης αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους έργα (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2006):

1. Έργα εξωτερικού υδραγωγείου ή απλά υδροδοτικά έργα, τα οποία αναπτύσσονται κυρίως έξω από την αστική περιοχή και περιλαμβάνουν τα έργα συλλογής του νερού στις πηγές (υδατικοί πόροι) και μεταφοράς του στις παρυφές της αστικής περιοχής, τα έργα επεξεργασίας του νερού και τη δεξαμενή ρύθμισης ή απλά δεξαμενή.
2. Έργα εσωτερικού υδραγωγείου ή απλά δίκτυα διανομής, τα οποία αναπτύσσονται στο σύνολο της αστικής περιοχής ως συστήματα αγωγών υπό πίεση και διανέμουν το επεξεργασμένο (καθαρό) νερό από τη ρυθμιστική δεξαμενή σε πολλαπλά σημεία προορισμού (καταναλωτές).

Συνήθως, η δεξαμενή ρύθμισης αποτελεί το όριο των παραπάνω δύο επιμέρους έργων.

2.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας της δεξαμενής ρύθμισης

Η δεξαμενή επιτελεί τις ακόλουθες 3 βασικές λειτουργίες (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007; Τσακίρης, 2010) :

1. Ρυθμίζει την παροχή σε 24ωρη βάση. Ανάντη της δεξαμενής η παροχή είναι σταθερή στη διάρκεια του 24ώρου, ενώ κατάντη ακολουθεί τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Έτσι, η διαστασιολόγησή της βασίζεται στις συνθήκες της δυσμενέστερης ημέρας του έτους σχεδιασμού και η παροχή σχεδιασμού της (καθώς και των ανάντη έργων) είναι μικρότερη από την παροχή σχεδιασμού των κατάντη έργων.
2. Ρυθμίζει την πίεση κατάντη της δεξαμενής στα επιθυμητά όρια, όπως π.χ. 30-60 m, με δεδομένη τη στάθμη της επιφάνειας του νερού.
3. Αποθηκεύει νερό για έκτακτες ανάγκες, όπως π.χ. σε περίπτωση βλάβης του υδραγωγείου ή πυρκαγιάς.
4. Εξασφαλίζει την απόσκοπη διάθεση νερού, καθώς διαθέτει τουλάχιστον δύο θαλάμους, ώστε σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής του ενός, να λειτουργεί ο άλλος και αντίστροφα.

Για λόγους οικονομίας και ασφάλειας, η δεξαμενή τοποθετείται όσο γίνεται πιο κοντά στον οικισμό ή την πόλη.

2.3 Βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας του δικτύου διανομής

Στόχος του δικτύου διανομής είναι η διανομή πόσιμου νερού καλύπτοντας απρόσκοπτα τη ζήτηση των κατοίκων.

Ο σχεδιασμός του δικτύου διανομής ενός οικισμού πραγματοποιείται με βάση τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του, που είναι κυρίως η πίεση και η ταχύτητα ροής του νερού, τα οποία λαμβάνουν τιμές εντός συγκεκριμένων ορίων, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.



1. **Μέγιστη τιμή πίεσης.** Το όριο αυτό εφαρμόζεται με στόχο την αποφυγή αστοχιών των εξαρτημάτων του δικτύου, των αγωγών και των οικιακών συσκευών (Τσακίρης, 2008) και τη μείωση των απωλειών νερού από τα σημεία υδροληψίας με ελαττωματική στεγανότητα (Χατζηαγγέλου, 2002). Θεωρητικά, η μέγιστη πίεση στο δίκτυο εμφανίζεται όταν υπάρχει μηδενική φόρτιση, δηλ. η κατανάλωση νερού μηδενίζεται, και όταν η δεξαμενή βρίσκεται σε συνθήκες ανώτατης στάθμης ύδατος (ΑΣΥ) (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007). Σε αυτήν την περίπτωση, η πίεση σε ένα σημείο του δικτύου ταυτίζεται με τη στατική πίεση στο σημείο αυτό (που είναι η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού στη δεξαμενή και του υψομέτρου του σημείου). Η στατική πίεση σε όλο το δίκτυο πρέπει να είναι μικρότερη από 60 m (Τσακίρης, 2008).
2. **Ελάχιστη τιμή πίεσης.** Το όριο αυτό διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία των σημείων υδροληψίας του δικτύου. Θεωρητικά, ο έλεγχος ελαχίστων πιέσεων αναφέρεται σε συνθήκες κατώτατης στάθμης ύδατος (ΚΣΥ) της δεξαμενής ρύθμισης και μέγιστης (ωριαίας) κατανάλωσης (Κοσσιέρης, 2023). Στην πράξη, εντοπίζονται τα κτήρια με τους περισσότερους ορόφους στον οικισμό και έπειτα, προσδιορίζεται το όριο ελάχιστης πίεσης εφαρμόζοντας μια εμπειρική σχέση (Εξίσωσης 2.3-1) που λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των ορόφων (Τσακίρης, 2008). Εφαρμόζοντας την Εξίσωση 2.3-1, η ελάχιστη πίεση δεν πρέπει σε κανένα σημείο ενός τυπικού κτηρίου να είναι μικρότερη των 4 m (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007).

Η εμπειρική εξίσωση που εκτιμά το ελάχιστο ύψος πίεσης στο έδαφος είναι:

$$p_{min}/\rho g \approx 4(n + 1) \quad (2.3-1)$$

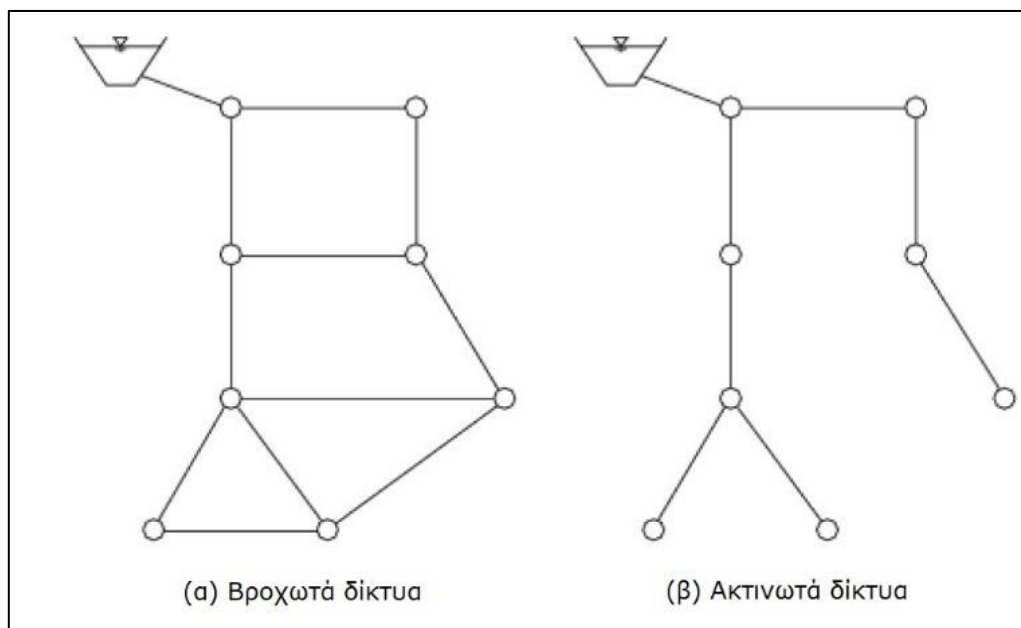
Όπου, p_{min} είναι η ελάχιστη πίεση στο έδαφος (Pa), ρ είναι η πυκνότητα νερού (kg/m^3), g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2) και n είναι ο αριθμός των ορόφων (-).

Η ελάχιστη αποδεκτή πίεση δεν ορίζεται απόλυτα. Σε πολλές περιπτώσεις ορίζεται από τον κανονισμό λειτουργίας του δικτύου. Έτσι, παρατηρείται ότι η ΕΥΔΑΠ ορίζει ως ελάχιστη αποδεκτή πίεση τα 20 m (Κοσσιέρης, 2023).

3. **Όρια ταχύτητας ροής στους αγωγούς.** Η μέγιστη τιμή ταχύτητας ροής στους αγωγούς λαμβάνεται συνήθως ίση με 2.00 m/s και υιοθετείται για να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά η εμφάνιση υπερπιέσεων στο δίκτυο που οδηγούν σε υδραυλικό πλήγμα κατά το άνοιγμα ή το κλείσιμο των δικλείδων του δικτύου (Χατζηαγγέλου, 2002). Ως ελάχιστη θεωρείται η τιμή του 0.50 m/s, για την αποφυγή υποπιέσεων στο δίκτυο, που μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα σπηλαιώσης. Για μικρότερες τιμές ταχυτήτων ροής, το νερό παραμένει στάσιμο εντός των αγωγών, μια κατάσταση που οδηγεί σε εμφάνιση εναποθέσεων στον πυθμένα τους, σε αυξημένους χρόνους παραμονής του νερού στο δίκτυο και τελικώς, σε υποβάθμισης της ποιότητας του (Κίγκας, 2017).
4. **Παροχτευτικότητα αγωγών.** Οι αγωγοί του δικτύου διανομής διαστασιολογούνται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες της μέγιστης ωριαίας ζήτησης νερού (εκ των 24 ωριαίων τιμών), που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη ώρα της ημέρας αιχμής του έτους και, ταυτόχρονα, τις ανάγκες πυρόσβεσης (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017).
5. **Διάμετρος αγωγών.** Στα δίκτυα διανομής νερού, η ελάχιστη ονομαστική επιτρεπόμενη διάμετρος των αγωγών είναι στα 90 mm (Φ90) και αφορά μόνο αγωγούς που δεν εξυπηρετούν πυροσβεστικούς κρουούς, ενώ η ελάχιστη κλάση αγωγών είναι 10 atm (Κοσσιέρης, 2023).

2.4 Μορφή Δικτύων

Τα δίκτυα ύδρευσης διακρίνονται σε βρογχωτά και ακτινωτά, ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των αγωγών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-1.



Εικόνα 2-1 Διάταξη αγωγών δικτύου διανομής νερού (α) βρογχωτά και (β) ακτινωτά δίκτυα (Μακρόπουλος κ.α., 2019).

Τα βρογχωτά δίκτυα τροφοδοτούνται με νερό από ένα ή περισσότερα σημεία, σχηματίζοντας κλειστές διαδρομές αγωγών (Εικόνα 2-1α). Αποτελούνται από μία σειρά βρόγχων συνδεόμενων μεταξύ τους με έναν ή περισσότερους αγωγούς. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η δυνατότητα της κυκλοφορίας του νερού από και προς τις δύο κατευθύνσεις. Έτσι, με τα βρογχωτά δίκτυα εξασφαλίζεται η καλύτερη κυκλοφορία του νερού και αποφεύγεται ο κίνδυνος ύπαρξης κακής ποιότητας νερού από την μη κυκλοφορία του σε απόμακρα τμήματα των οικισμών, όπως ισχύει με τα ακτινωτά δίκτυα (Καρκατσούλη, 2008). Επίσης, επιτυγχάνεται η τροφοδοσία κάθε καταναλωτή από εναλλακτικές διαδρομές, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου σε περιπτώσεις βλάβης και τον περιορισμό του κινδύνου υδραυλικού πλήγματος (Μακρόπουλος κ.α., 2019).

Τα ακτινωτά δίκτυα τροφοδοτούνται με νερό από ένα μοναδικό σημείο (κεφαλή), στο οποίο δεν σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών (βρόχοι) (Εικόνα 2-1β). Κάθε σημείο εξόδου τροφοδοτείται μέσω μιας μοναδικής διαδρομής. Το βασικό πλεονεκτήματα από τη χρήση ακτινωτών δικτύων ύδρευσης είναι η ελαχιστοποίηση του μήκους του δικτύου και συνεπώς, η ελαχιστοποίηση του κόστους των αγωγών. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι ότι παρουσιάζουν αυξημένες ενεργειακές απώλειες, ότι σε περίπτωση βλάβης απαιτείται απομόνωση των κατάντη κλάδων του δικτύου και επίσης, απαιτούν έργα προστασίας έναντι υδραυλικού πλήγματος (Καρκατσούλη, 2008).

Τα περισσότερα συστήματα παροχής νερού αποτελούνται από συνδυασμό βρόγχων και ακτινωτών διατάξεων αγωγών, και αυτό συμβαίνει γιατί (α) οι βρόχοι εξασφαλίζουν ασφάλεια στο δίκτυο, και (β) οι ακτινωτές διατάξεις αγωγών είναι πιο οικονομικές στην κατασκευή καθώς απαιτείται μικρότερο μήκος σωλήνων σε σχέση με τη βρογχωτή διάταξη. Σε μη αστικές περιοχές χαμηλής πυκνότητας πληθυσμού η μετατροπή ενός ακτινωτού δικτύου σε βρογχωτό μπορεί να είναι απαγορευτική στο κόστος σε σχέση με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει.



2.5 Αγωγοί του δικτύου διανομής νερού

Η μεταφορά του νερού μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου ύδρευσης επιτυγχάνεται με τους αγωγούς.

Οι αγωγοί διακρίνονται σε τροφοδοτικούς αγωγούς και αγωγούς διανομής.

- Οι τροφοδοτικοί αγωγοί είναι οι αγωγοί που τροφοδοτούν δεξαμενές αναρρύθμισης ή αποθήκευσης νερού, καθώς και όσοι έχουν ονομαστική διάμετρο τουλάχιστον 300 mm. Από τροφοδοτικούς αγωγούς δεν χορηγούνται παροχές για την υδροδότηση ακινήτων. Από τους τροφοδοτικούς αγωγούς είναι δυνατή η δημιουργία δικτύου διανομής, όπου αυτό είναι αναγκαίο και τεχνικά εφικτό, κατά την απόλυτη κρίση της αρμόδιας Υπηρεσίας της ΕΥΔΑΠ.
- Οι αγωγοί διανομής τοποθετούνται μόνο σε εγκεκριμένους δρόμους και έχουν ελάχιστη εσωτερική διάμετρο 100 mm, ή την πλησιέστερη προς αυτή ανάλογα με το υλικό κατασκευής (ΦΕΚ 552/Β'/26-3-2009).

Στα συστήματα ύδρευσης χρησιμοποιούνται οι αγωγοί ή σωλήνες εμπορίου, που διατίθενται σε διάφορα υλικά, διαμέτρους και κλάσεις (ονομαστική αντοχή σε πίεση).

Οι σωλήνες του εμπορίου χαρακτηρίζονται από (1) την ονομαστική διάμετρο, (2) την ονομαστική πίεση και (3) το υλικό κατασκευής τους, το οποίο καθορίζει τον συντελεστή ισοδύναμης τραχύτητας, k_s (Στάμου, 2016).

2.5.1 Υλικά αγωγών δικτύου διανομής

Ανάλογα με το υλικό τους, οι σωλήνες εμπορίου ονομάζονται χαλυβδοσωλήνες, σιδηροσωλήνες, χαλκοσωλήνες, μολυβδοσωλήνες ή πλαστικοί σωλήνες (Στάμου, 2016).

Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι σωλήνες είναι οι πλαστικοί, από πολυαιθυλένιο (PE ή HDPE), ή πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), λόγω πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σχετικά με την ταχύτητα και ευκολία κατασκευής τους, την ικανοποιητική ανθεκτικότητά τους, την αντοχή και το κόστος τους. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται και χαλύβδινοι αγωγοί, οι οποίοι αντέχουν ανάλογα με το πάχος τους, οποιαδήποτε πίεση. Συνήθως, για μικρές διαμέτρους (ενδεικτικά μέχρι 400 mm) προτιμώνται οι πλαστικοί αγωγοί, ενώ για μεγαλύτερες οι χαλύβδινοι (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017).

Παλαιότερα, είχαν τύχει ευρείας εφαρμογής οι αμιαντοσιμεντοσωλήνες, που ωστόσο σταδιακά αντικαθίστανται για λόγους υγιεινής (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017). Η ΕΥΔΑΠ δεν κατασκευάζει πλέον τμήματα του δικτύου ύδρευσης από αμιαντοσιμεντοσωλήνες. Τόσο για την κατασκευή νέων τμημάτων όσο και για την αντικατάσταση του πεπαλαιωμένου τμήματος του δικτύου στην περιοχή αρμοδιότητάς της η ΕΥΔΑΠ χρησιμοποιεί υλικά, όπως ο χάλυβας και το πολυαιθυλένιο.

2.5.2 Διάμετρος αγωγών συστήματος ύδρευσης

Η εσωτερική διάμετρος ορίζεται κατά την επιλογή της διαμέτρου του αγωγού εμπορίου που τοποθετείται στο δίκτυο, καθώς είναι δεδομένη και δίνεται από τον κατασκευαστή.

Οι αγωγοί εμπορίου διακρίνονται ως προς το υλικό της κατασκευής τους και την κλάση ή ονομαστική τους πίεση, δηλ. τη μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στην οποία μπορούν να υποβληθούν με ασφάλεια. Για όλα τα υλικά η μικρότερη επιτρεπτή κλάση αγωγών είναι οι 10 atm.

Οι τυπικές τιμές των διαμέτρων των αγωγών του εμπορίου για κάθε υλικό παρουσιάζονται στους Πίνακες Π1, Π2, Π3, και Π4 του Παραρτήματος.



2.5.3 Ισοδύναμη τραχύτητα αγωγών

Η ισοδύναμη τραχύτητα (k_s) αποτελεί μία εικονική τραχύτητα που προκύπτει από πείραμα σωλήνα με κόκκους άμμου τοποθετημένους στην επιφάνεια του και προσομοιώνει σύστημα σωληνώσεων. Οι τυπικές τιμές ισοδύναμης τραχύτητας αντιστοιχούν σε ιδανικές (εργαστηριακές) συνθήκες. Στον Πίνακα 2-1 παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές ισοδύναμης τραχύτητας σύμφωνα με του Ελληνικούς κανονισμούς για κάθε υλικό.

Πίνακας 2-1 Τυπικές τιμές τραχύτητας (Παντζάλης, 2017; Νάνου-Γιάνναρου, 2018).

Υλικό	k_s (mm)
Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	0.00151
Αμιαντοσιμεντοσωλήνες	0.5
Χαλύβδινοι σωλήνες	0.4
Χυτοσίδηροι σωλήνες	0.26
Γαλβανισμένος σίδηρος	0.15
Υψηλής Πυκνότητας Πολυαιθθλένιο (HDPE)	0.0015

Κατά τους υδραυλικούς υπολογισμούς οι τιμές του Πίνακας 2-1 προσαυξάνονται έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

1. **Γήρανση των αγωγών.** Δεδομένου ότι τα συστήματα ύδρευσης σχεδιάζονται με χρονικό ορίζοντα 40 ετών προκαλείται οξειδωση και διάβρωση των αγωγών.
2. **Μείωση της διαμέτρου των αγωγών.** Η διάμετρος των αγωγών μειώνεται εξαιτίας επικαθήσεων των αλάτων.
3. **Τοπικές απώλειες.** Σε πολλά σημεία του δικτύου παρουσιάζονται τοπικές απώλειες, όπως π.χ. σε μούφες, διακλαδώσεις, και αλλαγές διεύθυνσης ροής.

2.6 Υδραυλικά εξαρτήματα του δικτύου διανομής νερού

Τα υδραυλικά εξαρτήματα ενός δικτύου διανομής είναι τα ακόλουθα:

1. **Δικλίδες απομόνωσης.** Είναι διατάξεις ρύθμισης της παροχής που τοποθετούνται σε όλες τις διακλαδώσεις, ώστε σε περίπτωση βλάβης/συντήρησης να εξασφαλίζουν την απομόνωση του υπόλοιπου δικτύου. Συνήθως είναι χυτοσίδηρες, και διατίθενται σε διάφορους τύπους, ανάλογα με τη διάμετρο του αγωγού. Συνηθέστεροι τύποι δικλίδων είναι η συρταρωτή, η κυλινδρική και η «πεταλούδα».
2. **Δικλίδες αντεπιστροφής.** Εγκαθίστανται κυρίως σε καταθλιπτικούς αγωγούς, ώστε να εξασφαλίσουν ότι η ροή γίνεται μόνο προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.
3. **Εκκενωτές.** Διακλαδώσεις τύπου «Τ», τοποθετούνται σε χαμηλά σημεία του δικτύου, και επιτρέπουν την ελεύθερη εκροή προς ένα φυσικό αποδέκτη, για έκπλυση του δικτύου και απομάκρυνση των φερτών.
4. **Αερεξαγωγοί.** Εξαρτήματα που τοποθετούνται σε υψηλά σημεία, ώστε σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας να απομακρύνουν τον αέρα, ενώ σε συνθήκες υποπίεσης (υδραυλικό πλήγμα) να εισάγουν αέρα για την αποσυμπίεση του δικτύου.
5. **Μειωτές πίεσης.** Είναι ειδικές αυτόματες δικλίδες που εξασφαλίζουν σταθερή πίεση στα κατάντη, όταν η ανάντη πίεση είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή. Σε περίπτωση αντιστροφής της ροής λειτουργούν ως δικλίδες αντεπιστροφής.



6. **Πιεζοθραυστικά φρεάτια.** Δημιουργούν συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας ώστε να καταστήσουν την πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Τοποθετούνται σε κρίσιμα σημεία της μηκοτομής, όπως π.χ. σε υψηλά σημεία για την αποφυγή υποπιέσεων, και στα όρια μεταξύ πιεζομετρικών ζωνών.

2.7 Αντλητικές διατάξεις

Αντλητικές διατάξεις χρησιμοποιούνται τυπικά στα εξωτερικά υδραγωγεία. Ωστόσο είναι δυνατό να εγκατασταθούν με τη μορφή πιεστικών δεξαμενών σε εσωτερικό υδραγωγείο, όταν η πίεση στα σημεία υδροληψίας και η ζήτηση σε νερό είναι μικρή. Τα κύρια μέρη μιας αντλητικής διάταξης είναι η αντλία, ο σωλήνας αναρρόφησης ανάντη, και ο σωλήνας κατάθλιψης κατόντη.

2.7.1 Αντλιοστάσια

Οι χώροι τοποθέτησης αντλητικών διατάξεων καλούνται αντλιοστάσια. Τα αντλιοστάσια χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται η μηχανική ανύψωση του νερού (Σιδηρόπουλος, 2016). Το έργο του αντλιοστασίου πραγματοποιείται με τη χρήση αντλιών. Ο αριθμός των αντλιών κάθε αντλιοστασίου, καθώς επίσης και η ισχύς τους, υπολογίζονται με βάση τις ανάγκες που καλείται να καλύψει το αντλιοστάσιο. Πάντοτε υπάρχει και μία τουλάχιστον εφεδρική αντλία η οποία χρησιμοποιείται σε περίπτωση βλάβης ή και σε περίπτωση πολύ μεγάλου φόρτου. Ένα αντλιοστάσιο μπορεί να υφίσταται ως αμιγώς αντλητική εγκατάσταση ή να βρίσκεται στον ίδιο χώρο με μία δεξαμενή.

Οι βασικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή τύπου αντλίας είναι:

1. το μανομετρικό ύψος (m), που είναι το απαιτούμενο υδραυλικό φορτίο για τη μεταφορά του νερού από ένα σημείο σε άλλο, και
2. η απαιτούμενη παροχή (m^3/h).

Η σύνδεση του αντλιοστασίου με το δίκτυο πραγματοποιείται μέσω:

1. σωλήνα αναρρόφησης, που είναι τμήμα του δικτύου με αφετηρία το σημείο παραλαβής του ρευστού, δηλ. τη δεξαμενή, και τέλος την είσοδο της αντλίας, δηλ. το στόμιο αναρρόφησης της αντλίας, και
2. σωλήνα κατάθλιψης, που είναι τμήμα του δικτύου με αφετηρία την έξοδο της αντλίας και τέλος το τελικό προορισμό του ρευστού. Αυτός ο προορισμός μπορεί να είναι π.χ. μία οικιακή κατανάλωση.

Στο δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ, τα αντλιοστάσια μπορεί να τροφοδοτούν άλλα αντλιοστάσια ή δεξαμενές, που με τη σειρά τους υδροδοτούν περιοχές υψομετρικά υψηλές ή ακόμα, μπορεί να τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο ύδρευσης. Το αντλιοστάσιο μπορεί να τροφοδοτείται από αγωγό του δικτύου ή από δεξαμενή ημερήσιας αναρρύθμισης (Αγγελόπουλος, 2019).

2.7.2 Ωστικά αντλιοστάσια

Τα ωστικά αντλιοστάσια (booster) χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ύδρευσης για να αποφευχθούν προβλήματα κυκλοφορίας ρέοντος ύδατος, τα οποία οφείλονται σε χαμηλές τιμές πίεσης, δηλ. τα ωστικά αντλιοστάσια τοποθετούνται για να αυξήσουν την πίεση του νερού.

Τα ωστικά αντλιοστάσια είναι υποβρύχια αντλητικά συγκροτήματα σε οριζόντια διάταξη, στα οποία μία αντλία συνδέεται ομοαξονικά με έναν κινητήρα. Η σύνδεση της αντλίας με το δίκτυο πραγματοποιείται μέσω σωλήνα αναρρόφησης και σωλήνα κατάθλιψης. Όπως και για τις αντλίες, έτσι



και για την περιγραφή του ωστικού αντλιοστασίου, βασικά μεγέθη είναι το μανομετρικό ύψος (m) και η απαιτούμενη παροχή (m^3/h). Για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας του δικτύου, τοποθετείται ένα μανόμετρο στην αναρρόφηση και ένα μανόμετρο στην κατάθλιψη. Έτσι, μπορεί να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της πίεσης του νερού που εισέρχεται και εξέρχεται από τη διάταξη (Αγγελόπουλος, 2019).

2.7.3 Μετατροπéας συχνότητας

Ο μετατροπέας συχνότητας (inverter) σε μία αντλία επιτρέπει τον έλεγχο της συχνότητας της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την αντλία αυτή. Ο έλεγχος της συχνότητας συνεπάγεται και τον έλεγχο των στροφών λειτουργίας της αντλίας και κατά συνέπεια της παροχής και της πίεσης στην έξοδό της.

2.8 Πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου διανομής

Σε περιοχές με σημαντικές υψομετρικές διαφορές, μια μεμονωμένη κεντρική δεξαμενή ενδέχεται να μην επαρκεί για την εξυπηρέτηση του συνόλου του οικισμού χωρίς να προκαλεί προβλήματα χαμηλών πιέσεων στα μεγάλα υψόμετρα και υψηλών πιέσεων στα μικρά υψόμετρα.

Στην περίπτωση αυτή, ο οικισμός χωρίζεται σε υδραυλικά ανεξάρτητες πιεζομετρικές ζώνες καθ' ύψος της επιτρεπόμενης πίεσης, με χρήση διατάξεων ελέγχου της πίεσης, όπως βοηθητικές δεξαμενές, φρεάτια ή μειωτές πίεσης, και δικλίδες απομόνωσης.

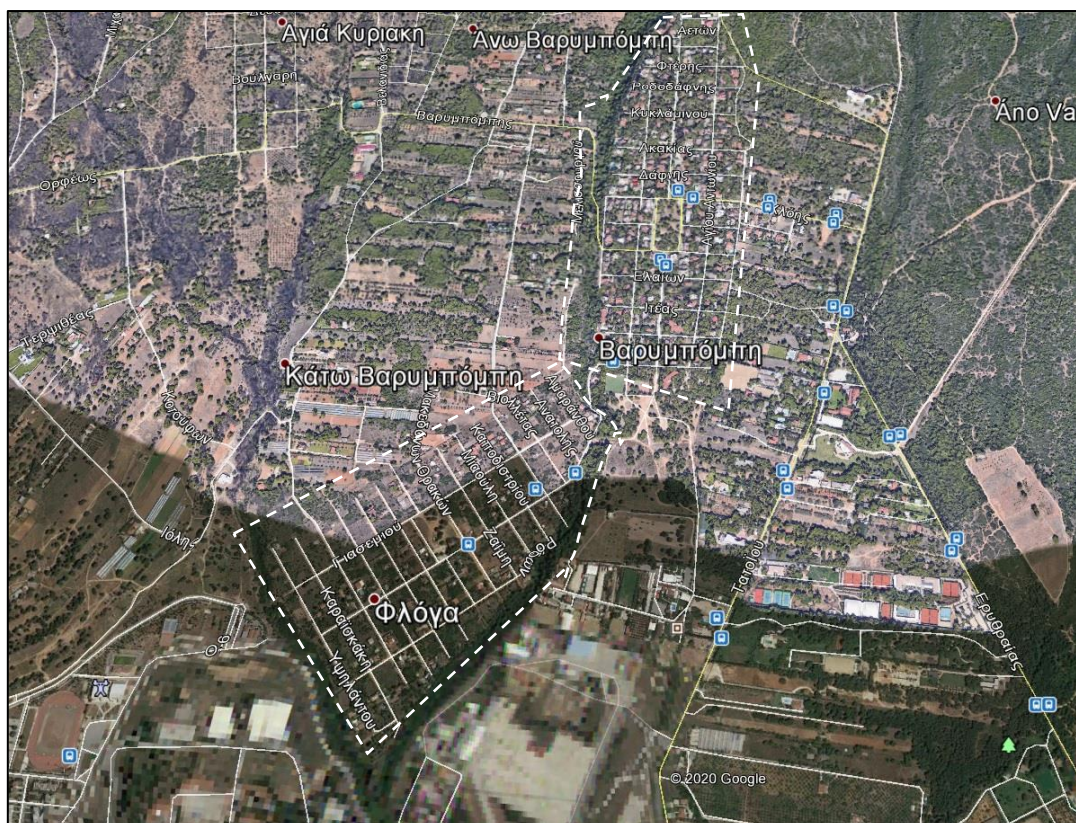
Με το διαχωρισμό αυτό, μπορεί να ρυθμιστεί η πίεση του νερού (σε συγκεκριμένα όρια) σε κάθε ζώνη και να ελεγχθεί η εισροή και η εκροή νερού (παροχές) σε αυτήν, επιτρέποντας παράλληλα τον αποτελεσματικότερο έλεγχο των ενδεχόμενων διαρροών του δικτύου και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσής του.

Γενικά, προτιμάται η διαμόρφωση των πιεζομετρικών ζωνών με απλές υδραυλικές διατάξεις, όπως πιεζοθραυστικά φρεάτια, τα οποία έχουν αμελητέο κόστος κατασκευής και δεν απαιτούν συντήρηση. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μειωτές πίεσης, που τοποθετούνται σε επιλεγμένες θέσεις του δικτύου (Κοσσιέρης, 2023).

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ

3.1 Το σύστημα ύδρευσης του οικισμού της Βαρυμπόμπης Αττικής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το σύστημα ύδρευσης που βρίσκεται στην περιοχή της Βαρυμπόμπης Αττικής και φαίνεται στην Εικόνα 3-1. Η Βαρυμπόμψη είναι οικισμός που υπάγεται στον Δήμο Αχαρνών - Θρακομακεδόνων στην βορειοανατολική Αττική και μέρος του πολεοδομικού συγκροτήματος Αθηνών. Βρίσκεται στα βορειοανατολικά του δήμου και περιβάλλεται από τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας. Στα δυτικά συνορεύει με την κοινότητα των Θρακομακεδόνων, ενώ στα ανατολικά συνδέεται με τα υπόλοιπα βόρεια προάστια μέσω των λεωφόρων Τατοΐου και Δεκέλειας-Κηφισίας.



Εικόνα 3-1 Χάρτης περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Earth Pro).

Το τμήμα του οικισμού που μελετάται αποτελείται από τις συνοικίες της Βαρυμπόμπης (άνω τμήμα) και της Φλόγας (κάτω τμήμα). Το οριοθετημένο τμήμα του οικισμού βρίσκεται σε υψόμετρα από 262 m μέχρι 360 m. Το δίκτυο ύδρευσης διακρίνεται σε δύο πιεζομετρικές ζώνες, μία στο άνω τμήμα και μια στο κάτω τμήμα του οικισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-2.

Η ζήτηση σε νερό της Βαρυμπόμπης φτάνει τα 87 579 m³ ανά έτος σύμφωνα με δεδομένα καταναλώσεων του 2022 που χορηγήθηκαν από την Υπηρεσία Εφαρμογών Πελατών της Διεύθυνσης Εφαρμογών Πληροφορικής της ΕΥΔΑΠ. Τα δεδομένα καταναλώσεων που χορηγήθηκαν δεν περιλαμβάνουν τους μεγάλους καταναλωτές που υδροδοτούνται από το προς εξέταση δίκτυο.



Εικόνα 3-2 Απεικόνιση του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης Αττικής (Πηγή: Υδρονομείο ΕΥΔΑΠ).

Το υφιστάμενο σύστημα ύδρευσης αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

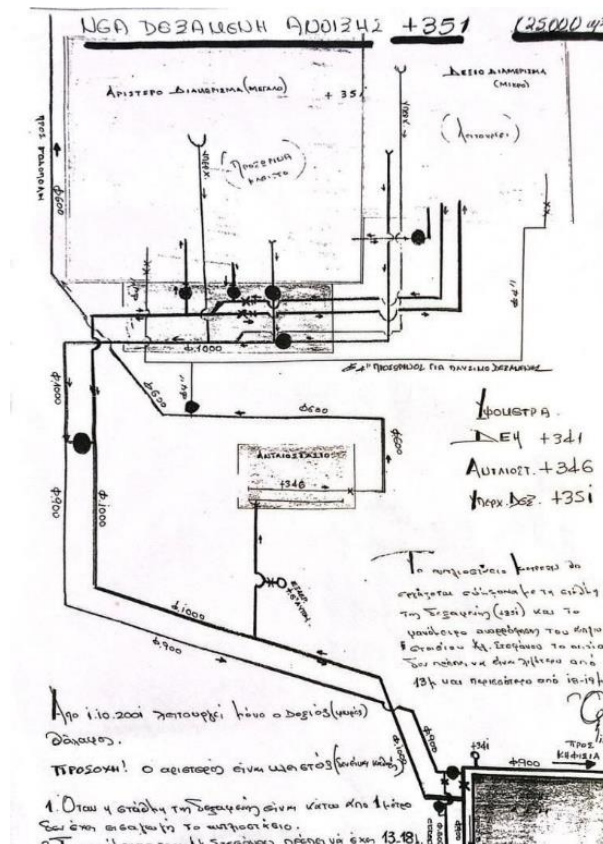
1. Δεξαμενή Βαρυμπόμπης (διακοπή χρήσης λόγω πυρκαγιάς του 2021),
2. Δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης,
3. Δεξαμενή στην περιοχή της Άνοιξης,
4. Αντλητικό συγκρότημα SH07 και,
5. Δίκτυο διανομής.

Για την υδροδότηση της Βαρυμπόμπης πραγματοποιείται η λήψη νερού από τη δεξαμενή της Άνοιξης, η οποία διανέμει μέσω ενός τροφοδοτικού αγωγού διαμέτρου 400 mm (Φ400) το νερό στο νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης, στη Φλόγα και ταυτόχρονα φορτίζει το αντλιοστάσιο (SH07) και τη δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης. Με το αντλιοστάσιο (SH07) το νερό διανέμεται με καταθλιπτικό αγωγό διαμέτρου 200 mm (Φ200) στο κεντρικό και άνω τμήμα της Βαρυμπόμπης.

3.2 Δεξαμενές του συστήματος ύδρευσης

3.2.1 Δεξαμενή Άνοιξης

Η δεξαμενή Άνοιξης που φαίνεται στην Εικόνα 3-3 βρίσκεται ανατολικά της Βαρυμπόμπης σε απόσταση περίπου 5 km από τον οικισμό. Έχει ορθογωνική κάτοψη, χωρητικότητα 25000 m³, αποτελείται από δύο θαλάμους και το ύψος στέψης είναι στα 351 m. Από το 2001 είναι σε λειτουργία μόνο ο ένας θάλαμος με αποτέλεσμα να αποθηκεύει μικρότερους όγκους νερού συγκριτικά με την αρχική της δυναμικότητα.



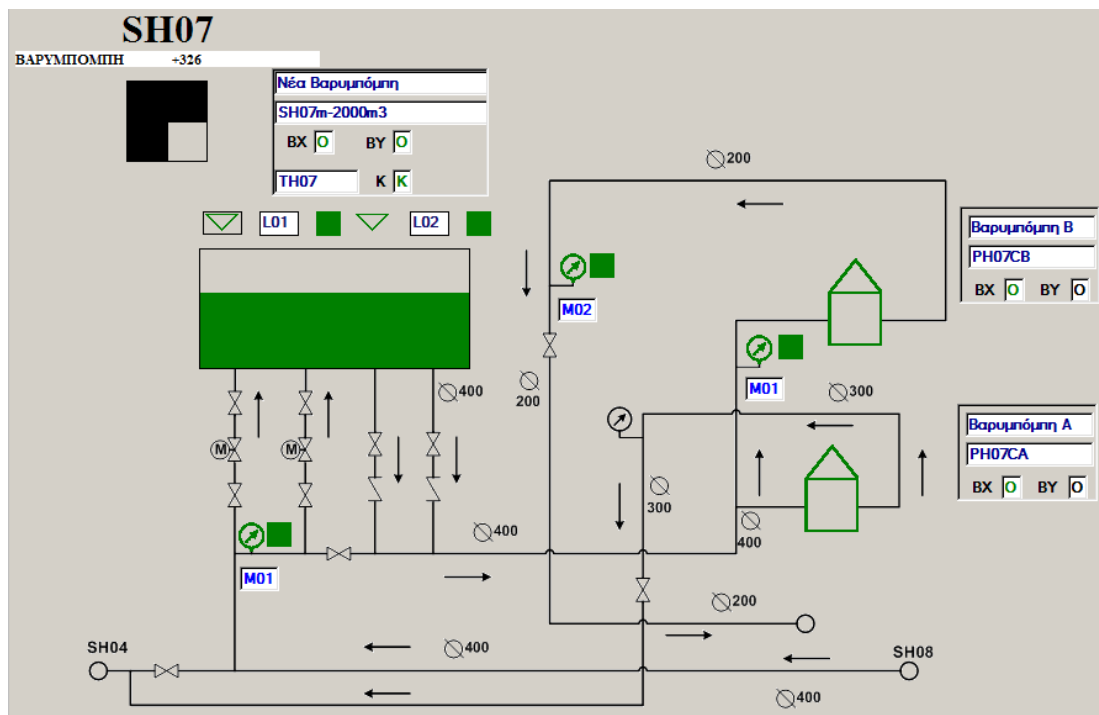
Εικόνα 3-3 Σκαρίφημα της δεξαμενής Άνοιξης και της σύνδεσής της με το δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης (Πηγή: Υπηρεσία Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών της ΕΥΔΑΠ).

3.2.2 Δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης

Η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης βρίσκεται βορειοδυτικά του οικισμού της Βαρυμπόμπης. Έχει κυκλική κάτοψη, διάμετρο 23.8 m χωρητικότητα 2000 m³ και το ύψος στέψης είναι 326 m. Τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Άνοιξης και διανέμει το νερό σε τμήμα του δικτύου ύδρευσης εκτός της περιοχής μελέτης. Η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης απομονώνεται από το δίκτυο ύδρευσης μέσω ηλεκτροβανών που ανοίγουν όταν η στάθμη της δεξαμενής πέσει κάτω από ένα επίπεδο, με στόχο την επανατροφοδότηση της και κλείνουν όταν η δεξαμενή γεμίζει.

3.3 Αντλητικό συγκρότημα SH07

Κατάντη της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης είναι εγκατεστημένο το αντλητικό συγκρότημα SH07. Στην Εικόνα 3-4 παρουσιάζεται το γενικό σχέδιο των εγκαταστάσεων του αντλητικού συγκροτήματος SH07. Στα αριστερά διακρίνεται η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης και στα δεξιά το αντλιοστάσιο Βαρυμπόμπη Α (PH07CA), το οποίο τροφοδοτεί τον αγωγό Φ200 που διανέμει νερό στον οικισμό της Βαρυμπόμπης (προς ζώνη μπούστερ Αγ. Γεώργιος) και το αντλιοστάσιο Βαρυμπόμπη Β (PH07CB), το οποίο τροφοδοτεί τον αγωγό Φ300 που στέλνει νερό στη δεξαμενή Πλαστικές (εκτός περιοχής μελέτης).



Εικόνα 3-4 Γενικό σχέδιο των εγκαταστάσεων αντλητικού συγκροτήματος SH07.

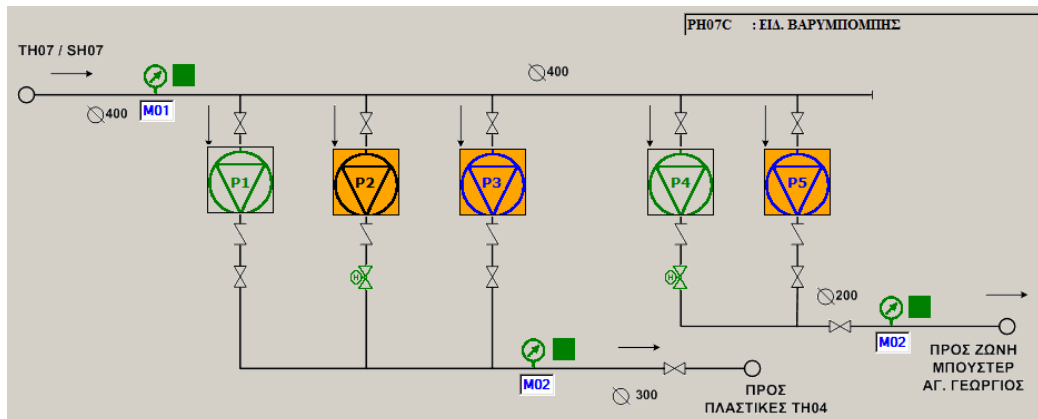
Στην Εικόνα 3-5 παρουσιάζεται η εσωτερική διάταξη του αντλητικού συγκροτήματος SH07, η οποία αποτελείται από πέντε αντλίες και στον Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αντλιών. Ο οικισμός της Βαρυμπόμπης λαμβάνει νερό μέσω των αντλιών P4 και P5, οι οποίες συνδέονται με το δίκτυο μέσω ενός αγωγού Φ200. Στην Εικόνα 3-6 φαίνεται η φωτογραφία της αντλίας P4.

Στην Εικόνα 3-5 σημειώνονται χρωματικά η κατάσταση λειτουργίας των αντλιών ως εξής:

- Με πράσινο: Η αντλία βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας.
- Με μπλε: Η αντλία βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής (προς λειτουργία).
- Με μαύρο: Η αντλία βρίσκεται σε κατάσταση εκτός λειτουργίας.

Πίνακας 3-1 Χαρακτηριστικά των αντλιών του αντλητικού συγκροτήματος SH07.

Αντλία	Κατάσταση Λειτουργίας	Εξυπηρετούμενο δίκτυο
P1	Σε λειτουργία	Προς Πλαστικές
P2	Εκτός λειτουργίας	Προς Πλαστικές
P3	Σε αναμονή (εφεδρική)	Προς Πλαστικές
P4	Σε λειτουργία	Προς ζώνη μπούστερ Αγ. Γεώργιος (Βαρυμπόμπη)
P5	Σε αναμονή (εφεδρική)	Προς ζώνη μπούστερ Αγ. Γεώργιος (Βαρυμπόμπη)



Εικόνα 3-5 Εσωτερική διάταξη αντλητικού συγκροτήματος SH07 (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ, μετά από προσαρμογή).



Εικόνα 3-6 Φωτογραφία της αντλίας P4 (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ).

3.4 Αγωγοί του δικτύου διανομής

Στον Πίνακα 3-2 παρουσιάζονται οι διάμετροι των αγωγών που είναι εγκατεστημένοι στο εξεταζόμενο δίκτυο και τα αντίστοιχα υλικά τους. Όσον αφορά τα υλικά των αγωγών, λόγω έλλειψης δεδομένων, για κάποιους αγωγούς έγιναν παραδοχές που βασίστηκαν στις τυπικές διαμέτρους των διαθέσιμων αγωγών εμπορίου, όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες Π 1, Π 2, Π 3 και Π 4 του Παραρτήματος.

Πίνακας 3-2 Ονομαστικές διαμέτρους των αγωγών του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.

Υλικό	Ονομαστική διάμετρος (mm)
Αμιαντοσιμεντό	Φ80, Φ100, Φ125, Φ150, Φ200, Φ250, Φ300
Χυτοσίδηρος	Φ400, Φ500, Φ600, Φ900
Χάλυβας γαλβανιζέ	1.5", 2", 3", 4", Φ150
Χάλυβας ευθείας ραφής	Φ300
Χάλυβας ελικοειδούς ραφής	Φ900, Φ1000
PE-MRS100	Φ110, Φ160
PVC	Φ110, Φ160



4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

4.1 Επιλογή του μοντέλου και διαδικασία μαθηματικής προσομοίωσης

4.1.1 Επιλογή του μοντέλου EPANET

Για την προσομοίωση του συστήματος ύδρευσης επιλέχθηκε το μοντέλο EPANET με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά του (Rossman, 2000):

1. **Ευρέως εφαρμοσμένο.** Το ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο EPANET προσομοιώνει τη χρονική διακύμανση των υδραυλικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών συστημάτων ύδρευσης υπό πίεση.
2. **Ελεύθερο λογισμικό από διεθνώς αναγνωρισμένο φορέα.** Το μοντέλο EPANET αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency, US EPA) και είναι ελεύθερα διαθέσιμο.
3. **Εύχρηστο μοντέλο με δυνατότητες πολλών εφαρμογών.** Το μοντέλο EPANET είναι ένα χρήσιμο ερευνητικό εργαλείο, το οποίο βοηθάει το χρήστη στο να κατανοήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη ροή, τη «συμπεριφορά» του νερού στα συστήματα ύδρευσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα είδη εφαρμογών που σχετίζονται με την προσομοίωση και ανάλυση των συστημάτων ύδρευσης.
4. **Εύληπτη παρουσίαση αποτελεσμάτων.** Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με το μοντέλο EPANET παρουσιάζονται σε διάφορες μορφές, όπως π.χ. με χάρτες, γραφήματα, πίνακες κ.α.

4.1.2 Οι εξισώσεις του μοντέλου EPANET

Με το μοντέλο EPANET επιλύονται οι βασικές εξισώσεις ροής (α) συνέχειας (των παροχών) και (β) (διατήρησης) ενέργειας. Στην εξίσωση συνέχειας, θεωρούμε ότι το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών σε ένα κόμβο του δικτύου είναι ίσο με μηδέν και στην εξίσωση ενέργειας ότι το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών φορτίου σε ένα βρόχο του δικτύου (ακολουθώντας δεξιόστροφη φορά) είναι ίσο με μηδέν.

4.1.3 Επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου EPANET

Για την επίλυση των εξισώσεων ροής χρησιμοποιείται στο EPANET μια επαναληπτική μέθοδος επίλυσης που καλείται “Gradient Method” (Todini and Pilati, 1987), με την οποία οι αρχικές εξισώσεις ροής μετατρέπονται σε γραμμικές χρησιμοποιώντας μερικές παραγώγους, οι οποίες επιλύονται με τη διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια.

1. Θεωρούνται κάποιες αρχικές τιμές παροχών στους αγωγούς του δικτύου, για τις οποίες δεν ισχύει απαραίτητα η εξίσωση συνέχειας, για την οποία παρατηρείται ένα σφάλμα, το οποίο είναι η απόκλιση από τη μηδενική τιμή.
2. Ξεκινάει η επαναληπτική διαδικασία επίλυσης. Επιλύονται οι εξισώσεις ροής για πρώτη φορά, υπολογίζονται οι τιμές της ενέργειας σε κάθε κόμβο του δικτύου, με βάση τις οποίες υπολογίζονται οι «νέες τιμές» των παροχών στους αγωγούς του δικτύου. Για τις «νέες τιμές» των παροχών υπολογίζεται ένα νέο σφάλμα που αναμένεται να είναι μικρότερο από το αρχικό.
3. Πραγματοποιείται η επόμενη επίλυση και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι το σφάλμα που προκύπτει να είναι μικρότερο από το όριο σφάλματος που έχει τεθεί.



4.1.4 Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά δικτύου

Τα κύρια χαρακτηριστικά του δικτύου που υπολογίζονται με εφαρμογή του μοντέλου EPANET είναι τα ακόλουθα:

1. Το υδραυλικό φορτίο του νερού σε κάθε κόμβο του μοντελοποιημένου συστήματος ύδρευσης (σε m), που ισούται με το άθροισμα του υψομέτρου του κόμβου και της πίεσης σε αυτόν.
2. Η πίεση του νερού σε κάθε κόμβο του δικτύου (σε m).
3. Η παροχή του νερού σε κάθε αγωγό του δικτύου (σε L/s, m³/h ή m³/d).
4. Η ταχύτητα ροής του νερού σε κάθε αγωγό του δικτύου (σε m/s).
5. Η ποιότητα του νερού, που εκφράζεται από τη συγκέντρωση διαφόρων χημικών ουσιών και κυρίως του ελεύθερου χλωρίου σε κάθε κόμβο του δικτύου ή από την ηλικία/χρόνο παραμονής του νερού σε κάθε κόμβο του δικτύου.



4.1.5 Διαδικασία προσομοίωσης με το μοντέλο EPANET

Η διαδικασία της μαθηματικής προσομοίωσης στο EPANET εφαρμόζεται με (1) σχηματική απεικόνιση του δικτύου, (2) εισαγωγή δεδομένων του δικτύου, (3) καθορισμό παραμέτρων συμπεριφοράς και λειτουργίας του δικτύου και (4) πραγματοποίηση υπολογισμών.

4.2 Σχηματική απεικόνιση του δικτύου

Η σχηματική απεικόνιση ενός δικτύου ύδρευσης στο μοντέλο EPANET (στο κεντρικό παράθυρο Network Map) πραγματοποιείται συνδυάζοντας τα έξι αντικείμενα που φαίνονται στον Πίνακα 4-1 (Rossman, 2000). Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι σημειακά αντικείμενα (nodes) ή γραμμικά (junctions) που συνδέουν 2 σημειακά αντικείμενα.

Πίνακας 4-1 Τα έξι αντικείμενα του δικτύου.

Αντικείμενο/Είδος	Σύμβολο	Είδος/Περιγραφή
Κόμβοι (σημειακό)		Θέσεις ένωσης ή διακλάδωσης αγωγών με ή χωρίς ζήτηση/ κατανάλωση νερού, χωρίς αποθήκευση.
Πηγές νερού (σημειακό)		Θέσεις υδατικών πόρων, όπως λίμνες ποταμοί, πηγές, υπόγεια νερά κ.α.
Δεξαμενές και φρεάτια νερού (σημειακό)		Θέσεις αποθήκευσης νερού, όπως δεξαμενές, φρεάτια.
Αγωγοί (γραμμικό)		Ένας αγωγός ορίζεται από δύο κόμβους και μεταφέρει το νερό από τον ένα στον άλλο.
Αντλίες (γραμμικό)		Συσκευές που προσδίδουν ενέργεια στο νερό εντός του συστήματος ύδρευσης.
Δικλίδες (γραμμικό)		Δικλίδες απομόνωσης. Δικλίδες μείωσης πίεσης ή απλά μειωτές πίεσης. Άλλου τύπου δικλίδες.

4.3 Εισαγωγή δεδομένων

4.3.1 Δεδομένα δεξαμενών

Για κάθε δεξαμενή εισάγονται στη φόρμα εισαγωγής του EPANET που φαίνεται στην Εικόνα 4-1 τα στοιχεία: (1) οι καρτεσιανές συντεταγμένες, (2) το υψόμετρο του πυθμένα της δεξαμενής, (3) η αρχική στάθμη νερού, (4) η ελάχιστη στάθμη, (5) η μέγιστη στάθμη και (6) η διάμετρος.

Property	Value
*Tank ID	T_1
X-Coordinate	2217.964
Y-Coordinate	1117.631
Description	
Tag	
*Elevation	321.5
*Initial Level	4.275
*Minimum Level	0
*Maximum Level	4.5
*Diameter	23.8
Minimum Volume	0
Volume Curve	
Can Overflow	Yes
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	
Reaction Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	

Εικόνα 4-1 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων δεξαμενής.

4.3.2 Δεδομένα αντλιών του δικτύου

Για κάθε αντλία εισάγονται στη φόρμα εισαγωγής του EPANET που φαίνεται στην Εικόνα 4-2 τα στοιχεία: (1) ο ανάντη και κατάντη κόμβος αντλίας και (2) η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας, η οποία αποτελεί παράμετρο συμπεριφοράς και λειτουργίας του δικτύου.

Property	Value
*Pump ID	57
*Start Node	24
*End Node	117
Description	
Tag	
Pump Curve	1
Power	
Speed	
Pattern	
Initial Status	Open
Effic. Curve	
Energy Price	
Price Pattern	
Flow	#N/A

Flow	Head
600	150

Curve Editor

Curve ID: 1 Description:

Curve Type: PUMP Equation: $Head = 200.00 - 0.0001389(Flow)^2.00$

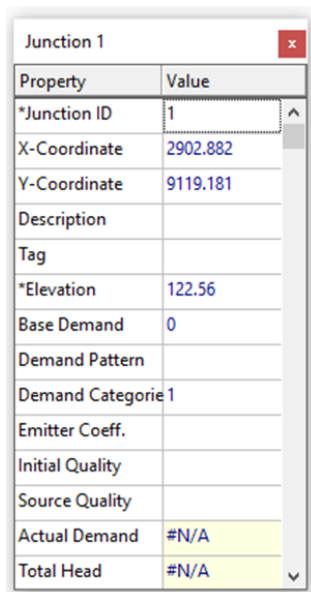
Buttons: Load... Save... OK Cancel Help

Εικόνα 4-2 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων αντλίας (αριστερά) και παράθυρο προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης της (δεξιά).



4.3.3 Δεδομένα κόμβων του δικτύου

Για κάθε κόμβο του δικτύου εισάγονται στη φόρμα εισαγωγής του EPANET που φαίνεται στην Εικόνα 4-3 τα ακόλουθα στοιχεία: (1) το υψόμετρο (m), (2) οι καρτεσιανές συντεταγμένες, και (3) βασική ζήτηση νερού (L/s).

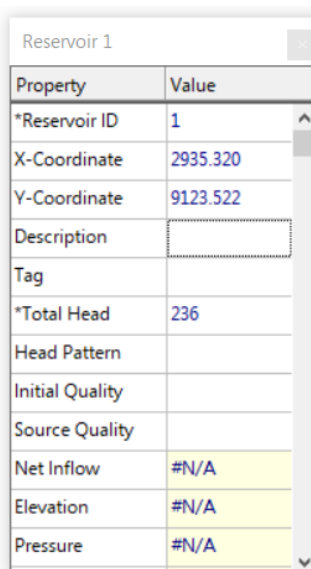


Property	Value
*Junction ID	1
X-Coordinate	2902.882
Y-Coordinate	9119.181
Description	
Tag	
*Elevation	122.56
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Category	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A

Εικόνα 4-3 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων κόμβου.

4.3.4 Δεδομένα πηγών, ταμιευτήρων και φρεατίων νερού

Για κάθε υδατικό πόρο ή δεξαμενή/φρεάτιο νερού εισάγονται στη φόρμα εισαγωγής του EPANET, που φαίνεται στην Εικόνα 4-4, τα ακόλουθα στοιχεία: (1) το υψόμετρο (στάθμη) επιφάνειας νερού (m), (2) οι καρτεσιανές συντεταγμένες, και (3) τα χαρακτηριστικά της ποιότητας του νερού.



Property	Value
*Reservoir ID	1
X-Coordinate	2935.320
Y-Coordinate	9123.522
Description	
Tag	
*Total Head	236
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A

Εικόνα 4-4 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων ταμιευτήρα.



4.3.5 Δεδομένα αγωγών του δικτύου

Για κάθε αγωγό εισάγονται στη φόρμα εισαγωγής του EPANET που φαίνεται στην Εικόνα 4-5, τα ακόλουθα στοιχεία: (1) ο ανάντη και κατάντη κόμβος, (2) το μήκος του (m), (3) η εσωτερική διάμετρος του (mm) και (4) η τραχύτητά του (mm).

Property	Value
*Pipe ID	1
*Start Node	Relief-well
*End Node	1
Description	
Tag	
*Length	15.8
*Diameter	130.8
*Roughness	0.0021
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A
Velocity	#N/A

Εικόνα 4-5 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων αγωγού.

4.3.6 Δεδομένα δικλίδων του δικτύου

Για κάθε δικλίδα εισάγεται (1) ο ανάντη και κατάντη κόμβος της δικλίδας, (2) η διάμετρό της, (3) ο τύπος της (π.χ. PRV για δικλίδα μείωσης πίεσης και FCV για δικλίδα ελέγχου ροής), (4) η τιμή ρύθμισής της (setting) και (5) η κατάσταση λειτουργίας της (Fixed Status). Ενδεικτικά, στην Εικόνα 4-6 παρουσιάζεται η φόρμα εισαγωγής δεδομένων για δικλίδες PRV και FCV.

Property	Value
*Valve ID	148
*Start Node	6
*End Node	123
Description	
Tag	
*Diameter	110
*Type	PRV
*Setting	30
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Headloss	#N/A
Quality	#N/A

Property	Value
*Valve ID	146
*Start Node	120
*End Node	12
Description	
Tag	
*Diameter	110
*Type	FCV
*Setting	0
Loss Coeff.	0
Fixed Status	Closed
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Headloss	#N/A
Quality	#N/A

Εικόνα 4-6 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για δικλίδες μείωσης πίεσης (αριστερά) και απομόνωσης (δεξιά).



Για τον PRV εισάγεται στην τιμή ρύθμισης το ανώτατο όριο της πίεσης στην έξοδο της δικλίδας που είναι π.χ. 33 m, οπότε όταν η πίεση ανάντη είναι μικρότερη από το ανώτατο όριο, τότε η δικλίδα κλείνει. Για τη FCV, εισάγεται στην τιμή ρύθμισης η μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή. Για να λειτουργήσει η FCV ως δικλίδα απομόνωσης πρέπει setting = 0.

Όσον αφορά την κατάσταση λειτουργίας των δικλίδων επιλέγεται η ρύθμιση «ανοικτή» (Open), «κλειστή» (Closed) ή «καμιά», η οποία δίνει στο μοντέλο τη δυνατότητα να «επιλέγει» την κατάσταση λειτουργίας της δικλίδας.

4.4 Καθορισμός παραμέτρων συμπεριφοράς και λειτουργίας του δικτύου

Οι παράμετροι συμπεριφοράς και λειτουργίας του δικτύου είναι (1) οι χαρακτηριστικές καμπύλες αντικειμένων του δικτύου (Curves), (2) τα πρότυπα χρονικής διακύμανσης αντικειμένων του δικτύου (Patterns), (3) οι κανόνες λειτουργίας αντικειμένων του δικτύου (Simple controls, Rules-based controls), (4) οι τιμές γενικών παραμέτρων των υπολογισμών.

4.4.1 Καθορισμός χαρακτηριστικών καμπυλών αντικειμένων του δικτύου

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες συνδέουν δύο μεγέθη ενός αντικειμένου, όπως π.χ. αντλίας, δεξαμενής και δικλίδας. Στο μοντέλο EPANET μπορούν να εισαχθούν οι ακόλουθες χαρακτηριστικές καμπύλες:

1. Καμπύλες λειτουργίας και βαθμού απόδοσης αντλίας.
2. Καμπύλη στάθμης νερού - όγκου δεξαμενής ή ταμιευτήρα.
3. Καμπύλη συντελεστή τοπικών απωλειών ενέργειας σε δικλίδα.

4.4.2 Καθορισμός προτύπων χρονικής διακύμανσης δεδομένων του δικτύου

Στο μοντέλο EPANET μπορεί να καθοριστεί ο τρόπος της χρονικής μεταβολής των παραμέτρων του, όπως π.χ. της ζήτησης σε ένα κόμβο του δικτύου, ορίζοντας τιμές συντελεστών που καλούνται «πολλαπλασιαστές», με τις οποίες πολλαπλασιάζεται μια σταθερή τιμή π.χ. ζήτησης, για να προκύψει η χρονική μεταβολή της κατανάλωσης στο χρόνο. Ο καθορισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί, αφού οριστεί το χρονικό βήμα υπολογισμών που είναι συνήθως 1 ώρα.

4.4.3 Καθορισμός κανόνων λειτουργίας αντικειμένων του δικτύου

Οι έλεγχοι λειτουργίας (controls) του δικτύου καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα αντικείμενα του δικτύου. Το μοντέλο EPANET δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μεταξύ δύο τύπων ελέγχων λειτουργίας (α) των απλών ελέγχων λειτουργίας (simple controls) και (β) των ελέγχων λειτουργίας που βασίζονται σε κανόνες (rule-based controls). Οι έλεγχοι λειτουργίας μεταβάλλουν την κατάσταση λειτουργίας (status) ή την τιμή ρύθμισης (setting) των αντικειμένων του δικτύου με βάση (1) τη στάθμη του νερού σε μία δεξαμενή, (2) την πίεση σε έναν κόμβο, (3) τον χρόνο στην προσομοίωση και (4) την ώρα της μέρας.

Οι ρυθμίσεις λειτουργίας που βασίζονται σε κανόνες επιτρέπουν στον χρήστη να μεταβάλλει την κατάσταση λειτουργίας και τις τιμές ρύθμισης των αντικειμένων του δικτύου, βάσει ενός συνδυασμού συνθηκών που ενδέχεται να υπάρχουν στο δίκτυο, μετά τον υπολογισμό μίας αρχικής υδραυλικής κατάστασης του συστήματος

4.4.4 Καθορισμός τιμών γενικών παραμέτρων των υπολογισμών

Οι γενικές παράμετροι που επιλέγονται (options) στο EPANET εντάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Υδραυλικές**, οι οποίες αφορούν τη μέθοδο των υδραυλικών υπολογισμών, όπως είναι η μέθοδος υπολογισμού των γραμμικών απωλειών (headloss formula), οι μονάδες μέτρησης παροχής (flow units), ο αριθμός των επαναλήψεων (maximum trials) και ο συντελεστής ζήτησης



(demand multiplier), δηλ. η τιμή με την οποία πολλαπλασιάζονται όλες οι τιμές ζήτησης (base demand) στους κόμβους του δικτύου.

- **Ποιότητας νερού**, που αναφέρονται στην παράμετρο ποιότητας του νερού που επιλέγεται να διερευνηθεί. Αυτή η παράμετρος μπορεί να είναι μια χημική ουσία (chemical), ένας δείκτης (trace) ή η ηλικία του νερού (age), για τα οποία καθορίζεται ο συντελεστής (της σχετικής) διάχυσης (relative diffusivity) με την τιμή 1 να αντιστοιχεί στο χλώριο (στους 20°C). Για την παράμετρο ποιότητας που επιλέγεται, μπορούν να καθοριστούν και οι παραμέτροι των χημικών αντιδράσεων.
- **Συνθήκες υπολογισμών**, που μπορεί να είναι σε μόνιμες (στιγμιαίες) συνθήκες (single period analysis) ή χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες (extended period analysis).
 1. Στις μόνιμες-στιγμιαίες συνθήκες εισάγονται οι αρχικές τιμές των δεδομένων, οι οποίες παραμένουν σταθερές κατά την επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου. Η επιλογή αυτή στο μοντέλο γίνεται θέτοντας την τιμή 0 στο πεδίο Total Duration.
 2. Στις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες εισάγονται τα δεδομένα με τη μορφή προτύπων χρονικής διακύμανσης, και η επίλυση των εξισώσεων ροής μας δίνει τη χρονική μεταβολή των υδραυλικών χαρακτηριστικών, π.χ. σε μια ημέρα.
- **Επιλογές ενέργειας (Energy)**. Οι επιλογές αυτές γίνονται όταν απαιτείται ο υπολογισμός της ενέργειας ή/και του κόστους άντλησης.



5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Για την επίτευξη αποτελεσματικής διακριτοποίησης και εφαρμογής επεμβάσεων στο δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης αναπτύσσεται και εφαρμόζεται το μαθηματικό μοντέλο του δικτύου στο λογισμικό EPANET, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της υδραυλικής συμπεριφοράς του συστήματος διανομής νερού.

Για την εισαγωγή των δεδομένων ενός υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης στο μοντέλο EPANET απαιτείται η μετατροπή των δεδομένων που παρέχονται από την εκάστοτε αρχή ή υπηρεσία σε μορφή συμβατή με αυτό. Το μοντέλο EPANET δέχεται αρχεία της μορφής INP (.inp). Αυτό συνεπάγεται ότι η μέθοδος που εφαρμόζεται για την εισαγωγή των δεδομένων στο EPANET εξαρτάται άμεσα από τη μορφή των δεδομένων που χορηγούνται.

5.2 Δεδομένα του μοντέλου του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης

Τα δεδομένα του μοντέλου EPANET του δικτύου διανομής της Βαρυμπόμπης ελήφθησαν από την Υπηρεσία Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών της ΕΥΔΑΠ. Τα αρχεία που παραχωρήθηκαν είναι της μορφής shapfile (.shp) και περιλαμβάνουν:

- τις ισοΰψεις της περιοχής μελέτης με ισοδιάσταση 4 m,
- τους αγωγούς ύδρευσης,
- τις δεξαμενές,
- τα αντλιοστάσια,
- τα πυροσβεστικά υδροστόμια,
- τα ειδικά τεμάχια ή κόμβους (joints),
- τις πυροσβεστικές παροχές,
- τις αερεξαγωγούς,
- τις δικλίδες (απομόνωσης, αντεπιστροφής και εκκένωσης),
- τους μειωτές πίεσης,
- τους κόμβους με αυξημένη κατανάλωση και,
- τις ζώνες πίεσης.

Για την επεξεργασία και μετατροπή των παραπάνω δεδομένων σε μορφή συμβατή με το λογισμικό EPANET χρησιμοποιήθηκε η τελευταία έκδοση QGIS 32.3.0 του λογισμικού Quantum Geographical Information System (QGIS) του Open Source Geospatial Foundation (OSGeo).

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον QGIS είναι:

1. Εισαγωγή των δεδομένων στο περιβάλλον του QGIS και επιλογή του Ελληνικού Συστήματος Γεωγραφικών Συντεταγμένων, ΕΓΣΑ' 87 (EPSG:2100).
2. Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (Digital Elevation Model, DEM) της περιοχής μελέτης. Μέσω των ισοΰψων καμπύλων που χορηγήθηκαν, με τη χρήση του εργαλείου τρισδιάστατης απεικόνισης «TIN interpolation», δημιουργήθηκε το DEM της περιοχής μελέτης.



3. Προσθήκη επιπρόσθετων κόμβων σε μορφή σημείου (point) σε σημεία σύνδεσης αγωγών και σε θέσεις κατανάλωσης, καθώς τα χαρακτηριστικά των κόμβων αυτών, όπως το υψόμετρο, απαιτούνται από το λογισμικό EPANET.
4. Υπολογισμός των συντεταγμένων (X, Y) όλων των στοιχείων του δικτύου που είναι σε μορφή σημείων, όπως π.χ. κόμβοι.
5. Εκτίμηση του υψομέτρου κάθε κόμβου του δικτύου βάσει του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο βήμα.

Στη συνέχεια, με στόχο την εισαγωγή των δεδομένων του δικτύου ύδρευσης στο λογισμικό EPANET σε συμβατή μορφή πραγματοποιήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

1. Εξαγωγή των δεδομένων που έχουν εισαχθεί στο QGIS σε αρχείο μορφής DXF (.dxf), το οποίο είναι συμβατό με το λογισμικό AutoCAD (<https://www.autodesk.com>) για τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού σχεδίου.
2. Επεξεργασία του ηλεκτρονικού σχεδίου σε περιβάλλον AutoCAD. Στο ηλεκτρονικό σχέδιο οι αγωγοί εισάγονται ως γραμμές και οι κόμβοι του δικτύου τοποθετούνται νοητά στις απολήξεις των γραμμών.
3. Χρήση του ηλεκτρονικού σχεδίου ως βάση για την αυτοματοποιημένη εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο EPANET μέσω του λογισμικού EraCAD. Το λογισμικό EraCAD αναπτύχθηκε από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο Νερού (ITA) του Πολυτεχνείου της Βαλένθια (UPV) και διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο (<https://www.epacad.com>).
4. Εισαγωγή στο μοντέλο του EPANET των χαρακτηριστικών των αντλιοστασίων, των δεξαμενών και των επιμέρους εξαρτημάτων του δικτύου από τον χρήστη.

5.3 Δεδομένα των δεξαμενών

Το δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης περιλαμβάνει δύο δεξαμενές σε λειτουργία:

- τη δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης με φορτίο 326.0 m, και
- τη δεξαμενή Άνοιξης με φορτίο 351.0 m.

Τα δεδομένα των δύο δεξαμενών που απαιτούνται για την προσομοίωση τους στο μοντέλο EPANET παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1 Δεδομένα των δεξαμενών του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης που εισήχθησαν στο μοντέλο του EPANET.

Δεδομένα	Δεξαμενή T_1	Δεξαμενή T_2
Υψόμετρο (m)	321.5	348.0
Ελάχιστη στάθμη (m)	0.0	0.0
Μέγιστη στάθμη (m)	4.5	3.0
Ισοδύναμη διάμετρος (m)	23.8	10.0

5.4 Δεδομένα του αντλητικού συγκροτήματος

5.4.1 Δεδομένα αντλιών

Τα δεδομένα του αντλητικού συγκροτήματος ελήφθησαν από την Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ. Στο αντλιοστάσιο SH07 που



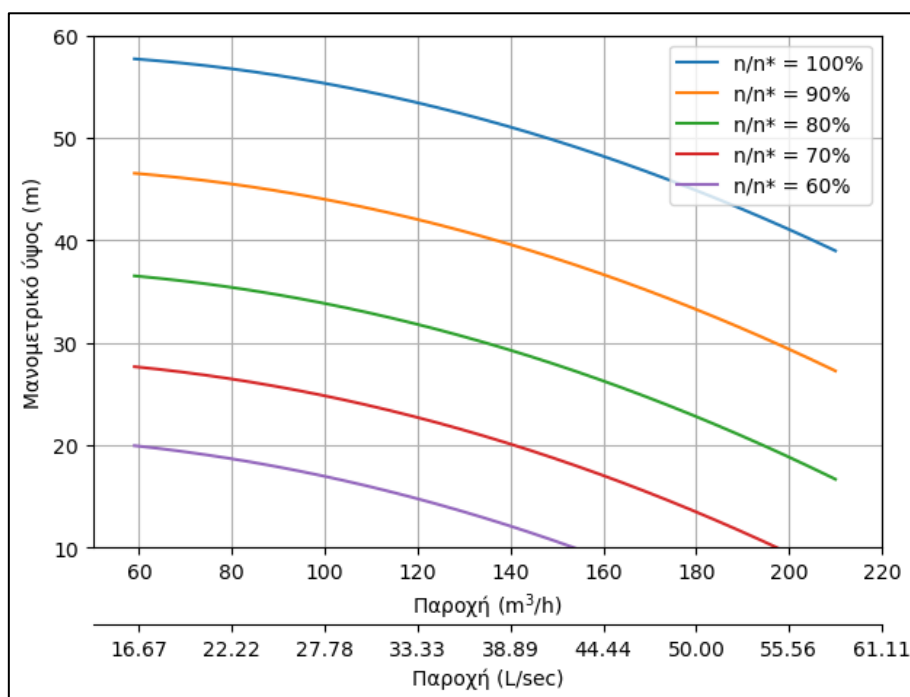
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET

τροφοδοτεί τον οικισμό της Βαρυμπόμπης υπάρχουν δύο όμοιες αντλίες (P4 και P5) εκ των οποίων η μία είναι εφεδρική (P5). Στον Πίνακα 5-2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αντλιών που είναι κατασκευής DP (Drakos Polemis) και τύπου NORMA 100-400.

Πίνακας 5-2 Τα χαρακτηριστικά των αντλιών P4 και P5 του αντλητικού συγκροτήματος SH07.

Παροχή, Q (m ³ /h)	Μανομετρικό, H (m)	Στροφές ανά λεπτό (rpm)
100.00	55.00	1450

Οι καμπύλες παροχής-μανομετρικού ύψους των αντλιών P4 και P5 για τις ονομαστικές στροφές και για στροφές ίσες με 90% και 80% των ονομαστικών στροφών φαίνονται στην Εικόνα 5-1. Στο μοντέλο EPANET εισάγονται μόνο οι τιμές για τις ονομαστικές στροφές. Οι καμπύλες για διαφορετικές στροφές υπολογίζονται από το μοντέλο. Τα ζεύγη τιμών της καμπύλης παροχής-μανομετρικού ύψους στις ονομαστικές στροφές παρουσιάζονται στον Πίνακα Π 5 του Παραρτήματος. Οι τιμές της παροχής εισάγονται στο EPANET σε L/s.



Εικόνα 5-1 Καμπύλη μανομετρικού ύψους – παροχής για διαφορετικές στροφές.

Στον Πίνακα 5-3 παρουσιάζονται τα δεδομένα που αφορούν την πίεση αναρρόφησης και την πίεση κατάθλιψης της αντλίας P4 σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σύμφωνα με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (real-time data), που λήφθηκαν από το σύστημα ελέγχου SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) της Υπηρεσίας Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ.

Πίνακας 5-3 Δεδομένα πίεσης αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας P4.

Ημερομηνία	Πίεση αναρρόφησης (bar)	Πίεση Κατάθλιψης (bar)
Άγνωστη	3.00	6.3
21/11/2023 2:25:00 μ.μ.	3.76	6.0

5.4.2 Δεδομένα μετατροπέα συχνότητας

Η λειτουργία των αντλιών που είναι εγκατεστημένες στο δίκτυο ύδρευσης ρυθμίζεται μέσω μετατροπέα συχνότητας (inverter), ο οποίος επιτρέπει τον έλεγχο της συχνότητας της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την αντλία αυτή. Ο έλεγχος της συχνότητας συνεπάγεται και τον έλεγχο των στροφών λειτουργίας της αντλίας και συνεπώς, της παροχής και της πίεσης στην έξοδό της.

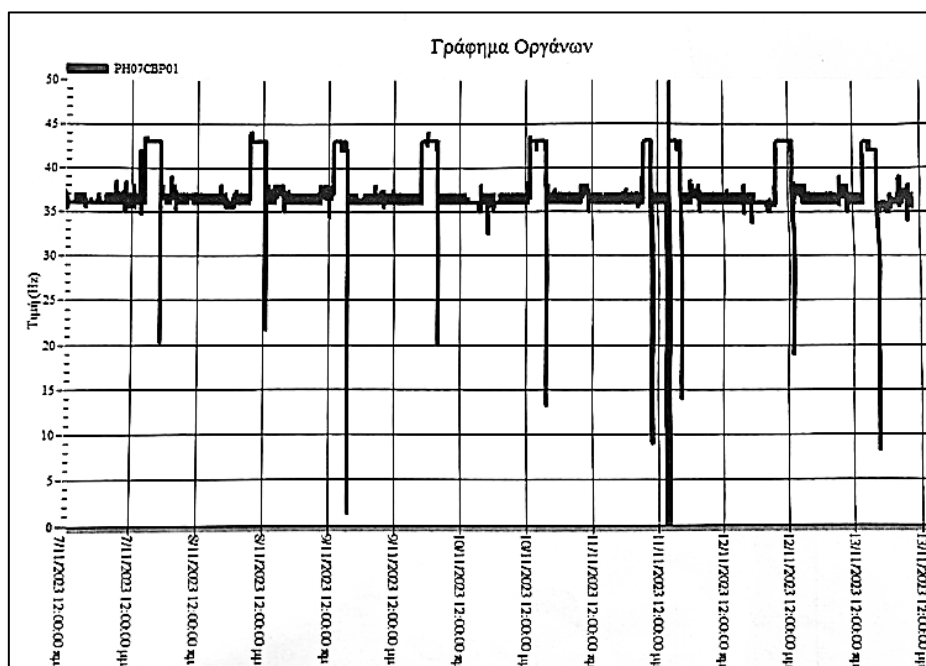
Στο δίκτυο που μελετάται οι μετατροπείς συχνότητας μεταβάλλουν τη συχνότητα της παρεχόμενης ισχύος προς τις αντλίες με σκοπό τη διατήρηση της πίεσης στο κατάντη μανόμετρο πάνω από ένα όριο. Η τιμή που επιλέχθηκε ως τιμή ρύθμισης (setpoint) της πίεσης κατάντη της αντλίας P4 είναι ίση με 6.3 bar (63 m), σύμφωνα με δεδομένα που χορηγήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ. Η ονομαστική συχνότητα λειτουργίας (f_{nom}) της αντλίας είναι ίση με 48.33 Hz (1450 rpm).

Στον Πίνακα 5-4 παρουσιάζεται η λειτουργία του μετατροπέα συχνότητας της αντλίας P4 σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σύμφωνα με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (real-time data), που λήφθηκαν από το σύστημα ελέγχου SCADA της Υπηρεσίας Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ.

Πίνακας 5-4 Δεδομένα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας της αντλίας P4.

Ημερομηνία	Συχνότητα, f^* (Hz)		
	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
04/07/2023	37 - 38	40	43-44
21/11/2023 2:25:00 μ.μ.	35	36	37

Στην Εικόνα 5-2 φαίνεται το γράφημα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας της P4 για χρονική περίοδο ίση με μια εβδομάδα, από 7/11/2023 12:00:00 π.μ. μέχρι 13/11/2023 12:00:00 μ.μ. Το γράφημα αυτό χορηγήθηκε στις 13/11/2023 από την Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ.



Εικόνα 5-2 Γράφημα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας της αντλίας P4 (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ).



Σύμφωνα με την **Error! Reference source not found.** εντός ενός 24-ώρου ο μετατροπέας της συχνότητας αυξάνει τις στροφές τις αντλίας από 1 μέχρι 2 φορές. Γνωρίζοντας τον τρόπο σύνδεσης της δεξαμενής T_1 με το αντλιοστάσιο SH07 είναι φανερό ότι η αύξηση των στροφών πραγματοποιείται όταν η πίεση αναρρόφησης μειώνεται εξαιτίας (1) του ανοίγματος των ηλεκτροβανών που είναι τοποθετημένες στην είσοδο της δεξαμενής T_1 και (2) της τροφοδοσίας της δεξαμενής.

Για τη μοντελοποίηση της λειτουργίας αντλιών μεταβλητών στροφών στο μοντέλο EPANET χρησιμοποιούνται κανόνες (Rules) (Georgescu et al., 2015; Marchi et al., 2017). Κάθε κανόνας αποτελείται από τις ενέργειες (Actions) και τις συνθήκες (Conditions).

Για κάθε αντλία μεταβλητών στροφών του δικτύου εισάγεται στο μοντέλο EPANET ένας αριθμός κανόνων. Ο αριθμός αυτός είναι ίσος με το μέγεθος της λίστας, η οποία περιλαμβάνει τους συντελεστές λειτουργίας (συχνότητα λειτουργίας προς ονομαστική συχνότητα λειτουργίας) που μπορεί να επιβάλει ο μετατροπέας συχνότητας.

Θεωρώντας ότι ο μετατροπέας συχνότητας λειτουργεί από 50 Hz μέχρι 30 Hz, με ονομαστική συχνότητα τα 48.33 Hz και 81 βήματα ελέγχου, τότε η λίστα των συντελεστών λειτουργίας f είναι η ακόλουθη:

- $f = [1.0346, 1.0294, 1.0242, 1.019, 1.0139, 1.0087, 1.0035, 0.9983, 0.9932, 0.988, 0.9828, 0.9777, 0.9725, 0.9673, 0.9621, 0.957, 0.9518, 0.9466, 0.9414, 0.9363, 0.9311, 0.9259, 0.9208, 0.9156, 0.9104, 0.9052, 0.9001, 0.8949, 0.8897, 0.8845, 0.8794, 0.8742, 0.869, 0.8639, 0.8587, 0.8535, 0.8483, 0.8432, 0.838, 0.8328, 0.8276, 0.8225, 0.8173, 0.8121, 0.807, 0.8018, 0.7966, 0.7914, 0.7863, 0.7811, 0.7759, 0.7707, 0.7656, 0.7604, 0.7552, 0.7501, 0.7449, 0.7397, 0.7345, 0.7294, 0.7242, 0.719, 0.7138, 0.7087, 0.7035, 0.6983, 0.6932, 0.688, 0.6828, 0.6776, 0.6725, 0.6673, 0.6621, 0.6569, 0.6518, 0.6466, 0.6414, 0.6363, 0.6311, 0.6259, 0.6207]$

Για κάθε τιμή i της λίστας των συντελεστών, πέραν της τελευταίας, δηλ. την τιμή 0.6207, εισάγεται στο μοντέλο ο παρακάτω κανόνας:

```
RULE i
IF JUNCTION target_node PRESSURE >= target_pressure
AND PUMP target_pump SETTING IS f[i]
THEN PUMP target_pump SETTING IS f[i+1]
PRIORITY 5
```

Όπου:

- από τη λέξη "IF" μέχρι τη λέξη "f[i]" είναι η συνθήκη (Condition),
- από τη λέξη "THEN" μέχρι τη λέξη "f[i+1]" είναι η ενέργεια (Action), και
- η φράση "PRIORITY 5" θέτει τον κανόνα στη μέγιστη δυνατή προτεραιότητα κατά τους υπολογισμούς.

Ο κανόνας ελέγχει εάν η πίεση στον κόμβο ελέγχου (target_node) είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή πίεση (target_pressure) και εάν στην αντλία έχει τεθεί ο συντελεστής της θέσης i , από τη λίστα των συντελεστών. Σε περίπτωση που η συνθήκη αυτή επαληθεύεται, τότε ορίζεται ο αμέσως επόμενος συντελεστής (θέση $i+1$ της λίστας συντελεστών) ως ο συντελεστής λειτουργίας της αντλίας (target pump). Με βάση τη λίστα συντελεστών εισάγονται συνολικά 160 κανόνες.

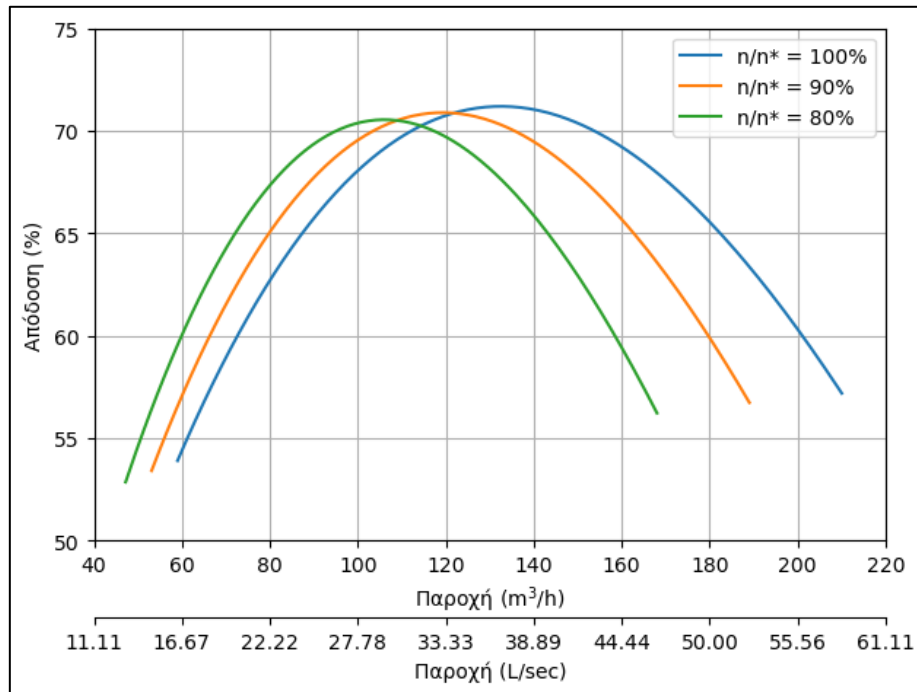


Παρακάτω παρουσιάζεται ως παράδειγμα ένας από τους κανόνες που εισήχθησαν στο μοντέλο.

```
RULE 1
IF JUNCTION JP_4 PRESSURE >= 63
AND PUMP P_1 SETTING IS 1.0346
THEN PUMP P_1 SETTING IS 1.0294
PRIORITY 3
```

5.4.3 Υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας του αντλητικού συγκροτήματος

Η καμπύλη της παροχής – απόδοσης των αντλιών του αντλητικού συγκροτήματος SH07 για τις ονομαστικές στροφές και για στροφές 90% και 80% των ονομαστικών παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-4. Η καμπύλη αυτή δεν εισάγεται στο μοντέλο EPANET, αλλά χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας, με βάση το σημείο λειτουργίας της αντλίας (παροχή Q και μανομετρικό ύψος H) και τις στροφές λειτουργίας n.



Εικόνα 5-3 Καμπύλη παροχής-απόδοσης για διαφορετικές στροφές λειτουργίας.

Τα βήματα υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Υπολογίζεται η παροχή στις ονομαστικές στροφές λειτουργίας από την Εξίσωση 5-1.

$$Q^* = \frac{n^*}{n} * Q \quad (5-1)$$

Όπου, Q^* είναι η παροχή στις ονομαστικές στροφές, Q είναι η παροχή στις στροφές λειτουργίας, n^* είναι οι ονομαστικές στροφές λειτουργίας και n είναι οι στροφές λειτουργίας.

2. Υπολογίζεται η απόδοση στις στροφές λειτουργίας από την Εξίσωση 5-2.

$$\eta = 1 - (1 - \eta^*) \left(\frac{n^*}{n}\right)^{0.1} \quad (5-2)$$



Όπου, η^* είναι η απόδοση στις ονομαστικές στροφές, η είναι η απόδοση στις στροφές λειτουργίας, n^* είναι οι ονομαστικές στροφές και n οι στροφές λειτουργίας.

3. Υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Εξίσωση 5-3.

$$E = \frac{\rho * g * H * Q}{\eta * \eta_{other}} * \Delta t \quad (5-3)$$

Όπου, ρ είναι η πυκνότητα του νερού, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, H είναι το μανομετρικό ύψος στις στροφές λειτουργίας, η είναι η απόδοση της αντλίας στις στροφές λειτουργίας, η_{other} είναι η απόδοση των υπόλοιπων διατάξεων, όπως του μετατροπέα συχνότητας και Δt είναι η χρονική διάρκεια για την οποία υπολογίζεται η ενέργεια.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας θεωρήθηκαν επιπλέον απώλειες σταθερές και ίσες με 3% ή αλλιώς συντελεστής απόδοσης $\eta_{other} = 97\%$.

5.5 Δεδομένα των κόμβων του δικτύου

Το δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης περιλαμβάνει ένα σύνολο κόμβων με διαφορετική λειτουργία, όπως κόμβοι υδροληψίας, κόμβοι σύνδεσης και απόληξης αγωγών και κόμβοι που λειτουργούν ως πυροσβεστικοί κρουνοί. Εστιάζοντας στους κόμβους υδροληψίας, η χαρτογράφηση των κόμβων αυτών πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα με την προσθήκη επιπρόσθετων κόμβων κατανάλωσης στο περιβάλλον του QGIS. Συνολικά, στο δίκτυο ύδρευσης πραγματοποιήθηκε η προσθήκη 299 κόμβων κατανάλωσης.

Τα δεδομένα των κόμβων που εισάγονται στο EPANET είναι το υψόμετρο σε m και η ζήτηση σε L/s. Η ζήτηση των κόμβων κατανάλωσης υπολογίστηκε σε L/s με βάση την τριμηνιαία κατανάλωσή τους για το 3ο τρίμηνο που αφορά την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου, κατά την οποία παρατηρείται η μέγιστη συνολική κατανάλωση μεταξύ των τεσσάρων τριμήνων.

Για την επιτυχή προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης, στο μοντέλο έχει πραγματοποιηθεί η προσθήκη των κόμβων A_424 και JV_165. Ο κόμβος A_424 εκφράζει την τροφοδοσία δικτύου που βρίσκεται εκτός της περιοχής μελέτης και ο κόμβος JV_165 εκφράζει ζήτηση που δεν περιλαμβάνεται στα δεδομένα του δικτύου που χορηγήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ (μεγάλοι καταναλωτές και Αεροδρόμιο Τατοΐου), όμως επηρεάζει τη λειτουργία του δικτύου.

Οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου δεν έχουν ζήτηση και αντιστοιχούν σε σημεία διασταύρωσης και απολήξεων αγωγών. Η εισαγωγή τους στο μοντέλο βοηθά στην αποτελεσματικότερη διαχείρισή του από τους χρήστες.

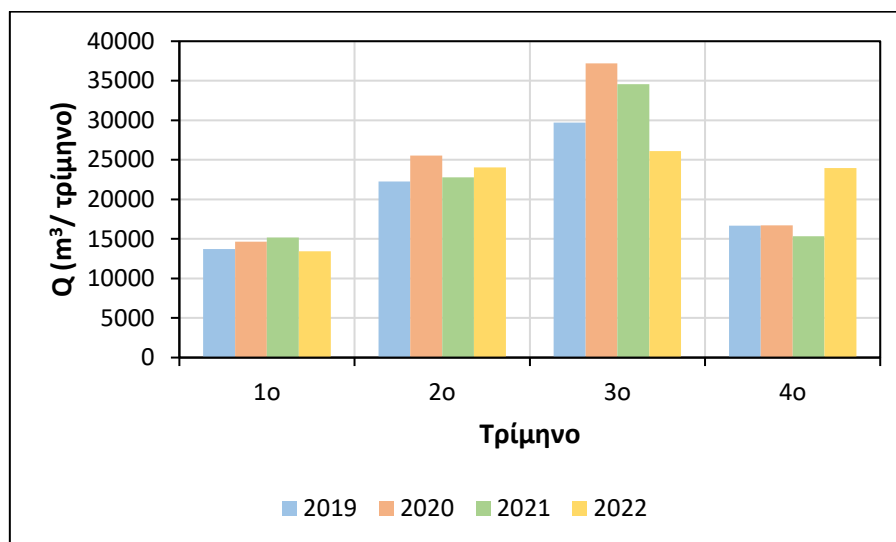
5.5.1 Κόμβοι κατανάλωσης με δεδομένα ζήτησης

Τα δεδομένα των κόμβων κατανάλωσης του δικτύου που ελήφθησαν από την Υπηρεσία Εφαρμογών Πελατών της Διεύθυνσης Εφαρμογών Πληροφορικής της ΕΥΔΑΠ περιλάμβαναν τις τριμηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2019 μέχρι 2022 και φαίνονται στον Πίνακα 5-5 και στην Εικόνα 5-4.

Οι υπολογισμοί για τη μέση ημερήσια κατανάλωση πραγματοποιήθηκαν για το 3^ο τρίμηνο του 2022 (περίοδος Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου), στο οποίο παρατηρείται η μέγιστη συνολική κατανάλωση. Οι τιμές των καταναλώσεων που εισάγονται στο EPANET αποτελούν τιμές βάσης (base demand). Κατά την προσομοίωση, οι τιμές αυτές πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές που μεταβάλλουν την κατανάλωση βάσης για να αποδώσουν την πραγματική κατανομή της κατανάλωσης εντός ενός 24-ώρου (Υποκεφάλαιο 5.5.3).

Πίνακας 5-5 Τριμηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2019 – 2022.

Τρίμηνο	1	2	3	4	1	2	3	4
Έτος	m ³ /τρίμηνο				L/s			
2019	13734	22265	29719	16674	1.766	2.863	3.822	2.144
2020	14639	25548	37217	16716	1.883	3.285	4.786	2.150
2021	15198	22791	34551	15338	1.954	2.931	4.443	1.972
2022	13443	24049	26122	23965	1.728	3.093	3.359	3.082



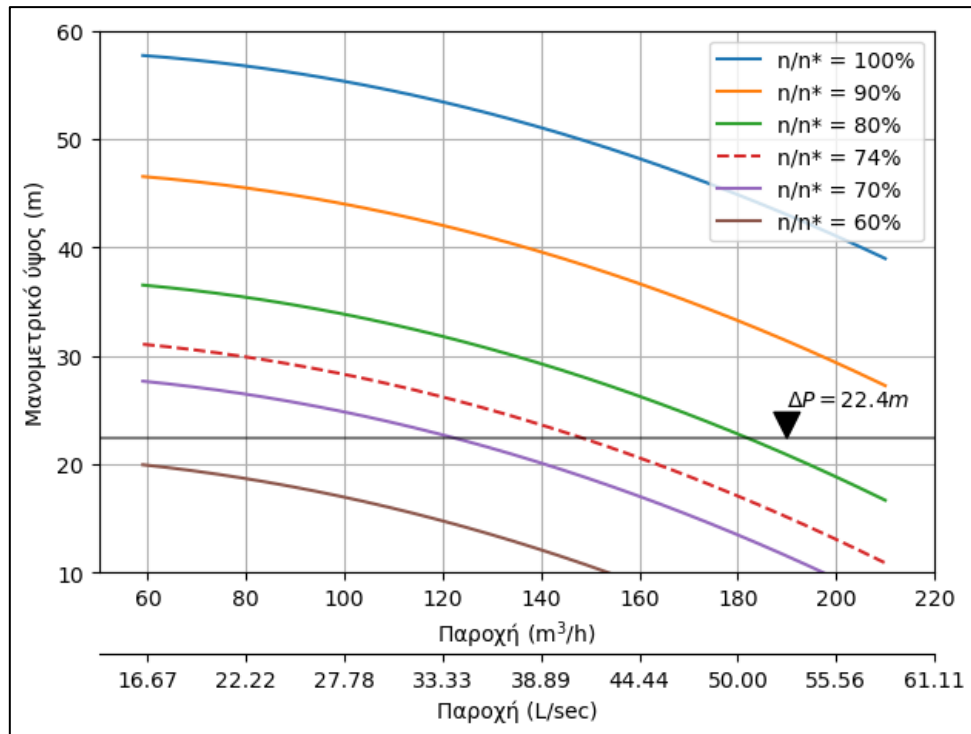
Εικόνα 5-4 Τριμηνιαίες καταναλώσεις για τα έτη 2019-2022.

5.5.2 Κόμβοι κατανάλωσης χωρίς δεδομένα ζήτησης

Όπως αναφέρθηκε, στο μοντέλο EPANET προστέθηκαν οι δύο κόμβοι A_424 και JV_165. Ο κόμβος A_424 εκφράζει την κατανάλωση του δικτύου που βρίσκεται εκτός της περιοχής μελέτης και ο κόμβος JV_165 την κατανάλωση που δεν περιλαμβάνεται στα δεδομένα του δικτύου που χορηγήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ (μεγάλοι καταναλωτές και Αεροδρόμιο Τατοΐου), αλλά επηρεάζει τη λειτουργία του. Η κατανάλωση στους παραπάνω δύο κόμβους εκτιμήθηκε με δεδομένα πραγματικού χρόνου του αντλιοστασίου που λήφθηκαν από την Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ.

Στον κόμβο A_424 η κατανάλωση εκτιμήθηκε με βάση το γράφημα της Εικόνας 5-2. Για άνοιγμα των ηλεκτροβανών και επανατροφοδότηση της δεξαμενής T_1 μια φορά κάθε ημέρα η κατανάλωση θεωρήθηκε ίση με 25 L/s, ενώ για επανατροφοδότηση της δεξαμενής 2 φορές την ημέρα η κατανάλωση θεωρήθηκε ίση με 50 L/s.

Η κατανάλωση στον κόμβο JV_165 εκτιμήθηκε με δύο μεθόδους. Στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη μανομετρικού ύψους – παροχής και πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί με βάση την **Error! Reference source not found.** και τα ακόλουθα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ: συχνότητα = 36 Hz, πίεση αναρρόφησης = 3.76 bar και πίεση κατάθλιψης = 6 bar (στις 21/11/2023 και ώρα 2:25:00 μ.μ.).



Εικόνα 5-5 Υπολογισμός παροχής αντλίας για μανομετρικό ύψος ίσο με 22.4 m και $f^*=74\%$.

Οι υπολογισμοί συνοψίζονται ως εξής:

- Ποσοστό της ονομαστικής συχνότητας: $f^* = 36 \text{ Hz} \Rightarrow f^*/f_{nom} = 36/48.33 \cong 74\%$
- Μανομετρικό ύψος: $H_m = h_p - h_d = 6 - 3.76 = 2.24 \text{ bar} = 22.4 \text{ m}$
- Συνολική παροχή κατάντη της αντλίας: $Q_{tot} = 40.2 \text{ L/s}$
- Απαιτούμενη παροχή δικτύου στις 2:25:00 μ.μ.: $Q_{DEM} = 3.359 \text{ L/s} \times 1.144 = 3.844 \text{ L/s}$
- Πρόσθετη παροχή στον κόμβο JV_165: $Q_{JV_{165}} = (Q_{tot} - Q_{DEM})/1.144 = 29.675 \cong 30 \text{ L/s}$

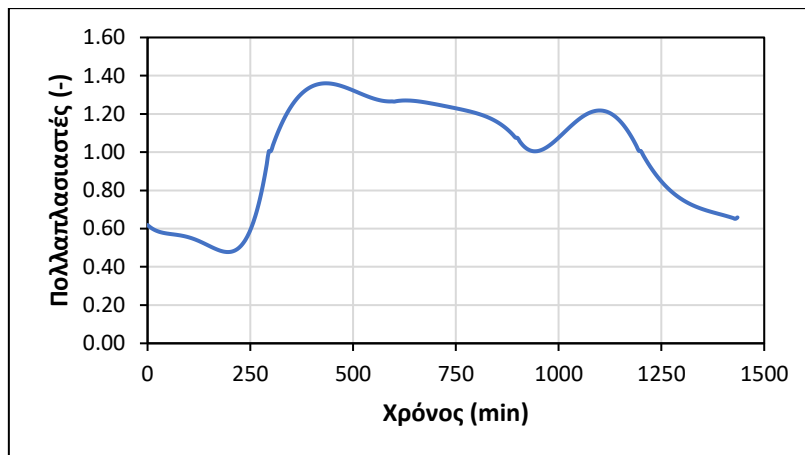
Στη δεύτερη μέθοδο, η κατανάλωση στον κόμβο JV_165 προσδιορίστηκε με σκοπό η ελάχιστη πίεση στον κόμβο κατάντη της αντλίας να έχει μια μέγιστη απόκλιση από την τιμή ρύθμισης (setpoint) που έχει τεθεί κατά την προσομοίωση.

Η απόκλιση αυτή μπορεί να προκύψει όταν η αντλία, παρά τη λειτουργία της υπό τις μέγιστες δυνατές στροφές δεν έχει την ικανότητα να καλύψει το απαιτούμενο μανομετρικό ύψος, ή αλλιώς την τιμή ρύθμισης. Σημειώνεται ότι οι μέγιστες στροφές λειτουργίας της αντλίας προκύπτουν από τη μέγιστη συχνότητα που μπορεί να αποδώσει ο μετατροπέας συχνότητας.

Με τη μέθοδο αυτή, η εκτιμώμενη ζήτηση αντιστοιχεί σε τιμές που βρίσκονται στην περιοχή χαμηλών παροχών της καμπύλης της αντλίας. Λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση και μετά από επαναληπτική διαδικασία, η κατανάλωση εκτιμήθηκε ίση με 15 L/s και αντιστοιχεί σε μέγιστη πτώση πίεσης 1.66 m κάτω από την τιμή ρύθμισης (setpoint = 63 m), ή αλλιώς 2.63%.

5.5.3 Ημερήσια κατανομή της ζήτησης

Για την προσομοίωση της κατάστασης του δικτύου της Βαρυμπόμπης απαιτείται η γνώση της μεταβολής της ζήτησης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Θεωρήθηκε το πρότυπο (pattern) της θερινής περιόδου που φαίνεται στην Εικόνα 5-6 (Καρκατσούλη, 2008). Το πρότυπο δείχνει τη χρονική μεταβολή/κατανομή των τιμών του πολλαπλασιαστή κάθε 5 min με τις οποίες προσδιορίζεται η τιμή της ζήτησης κάθε ώρα της ημέρας.



Εικόνα 5-6 Πρότυπο ημερήσιας μεταβολής της ζήτησης κατά τη θερινή περίοδο.

5.6 Χαρακτηριστικά των δικλίδων

Το εξεταζόμενο δίκτυο περιλαμβάνει συνολικά 133 δικλίδες απομόνωσης, αντεπιστροφής και εκκένωσης. Στην πλειοψηφία τους είναι δικλίδες απομόνωσης ή ελέγχου της παροχής (FCVs). Στο δίκτυο υπάρχει μία δικλίδα που λειτουργεί ως μειωτής πίεσης (PRV) και για την εξυπηρέτηση σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας εντάσσονται στο υφιστάμενο δίκτυο δύο δικλίδες διατήρησης της πίεσης (PSVs).

- Οι FCVs εντάχθηκαν στο μοντέλο βάσει των δεδομένων που χορηγήθηκαν από την Υπηρεσία Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών της ΕΥΔΑΠ που περιλάμβαναν τη θέση και τη ρύθμιση ΑΝΟΙΚΤΗ – ΚΛΕΙΣΤΗ της κάθε δικλίδας. Σε κάθε ανοικτή δικλίδα θεωρήθηκε συντελεστής απωλειών ίσος με 0.2 (Rossman, 2000).
- Η PRV είναι τοποθετημένη στην είσοδο του τμήματος του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης που τροφοδοτεί τη Φλόγα. Η τιμή της πίεσης την οποία διατηρεί στα κατάντη επιλέγεται με στόχο τη διατήρηση του συνολικού υδραυλικού φορτίου της Φλόγας στα 336 m. Η τιμή αυτή εισήχθη στο EPANET, στο πεδίο των ρυθμίσεων της δικλίδας και είναι ίση με 33 m.
- Οι PSVs τοποθετούνται στα ανάντη των δικλίδων απομόνωσης που ελέγχουν την τροφοδοσία της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης. Η τιμή της πίεσης που διατηρείται στα ανάντη επιλέγεται σε κάθε εφαρμογή με στόχο την πλήρη φόρτιση της δεξαμενής στο τέλος της ημέρας. Η τιμή αυτή εισάγεται στο EPANET στο πεδίο των ρυθμίσεων της δικλίδας και μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε σεναρίου προσομοίωσης.

5.7 Χαρακτηριστικά των αγωγών του δικτύου

Τα δεδομένα των αγωγών του δικτύου Βαρυμπόμπης που χορηγήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ είναι (1) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγωγών (διάμετρος και μήκος) και (2) το υλικό των αγωγών. Οι αγωγοί του μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα Π 6 του Παραρτήματος.



Οι τιμές ισοδύναμης τραχύτητας κατά Darcy–Weisbach που επιλέχθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 5-6.

Πίνακας 5-6: Ισοδύναμη τραχύτητα για διάφορα υλικά αγωγών.

Υλικό	Ισοδύναμη τραχύτητα (mm)
Αμμαντοσιμέντο	0.5
Χυτοσίδηρος	0.26
Χάλυβας γαλβανιζέ	0.15
Χάλυβας ευθείας ραφής	0.15
Χάλυβας ελικοειδούς ραφής	0.15
PE-MRS100	0.0015
PVC	0.0015

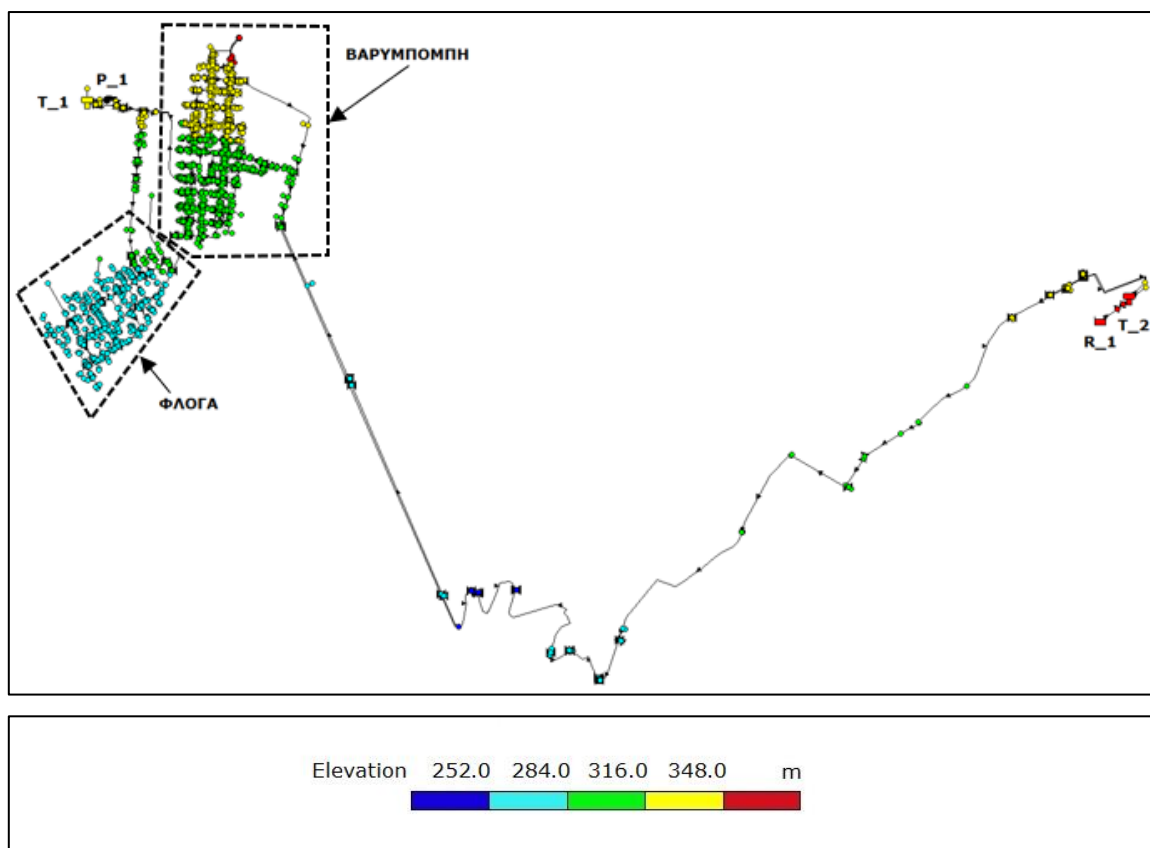
6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ

6.1 Συνοπτική περιγραφή και συνιστώσες του υφιστάμενου δικτύου

Για την προσομοίωση του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης με το EPANET απαιτείται η ύπαρξη «πηγής» παροχής νερού. Η «πηγή» παροχής νερού εισάγεται στο EPANET ως ο ταμιευτήρας (reservoir) που συμβολίζεται με R_1. Ο ταμιευτήρας R_1 τροφοδοτεί τη δεξαμενή Άνοιξης (που συμβολίζεται με T_2 στο EPANET), διατηρώντας το φορτίο της στα 351.0 m.

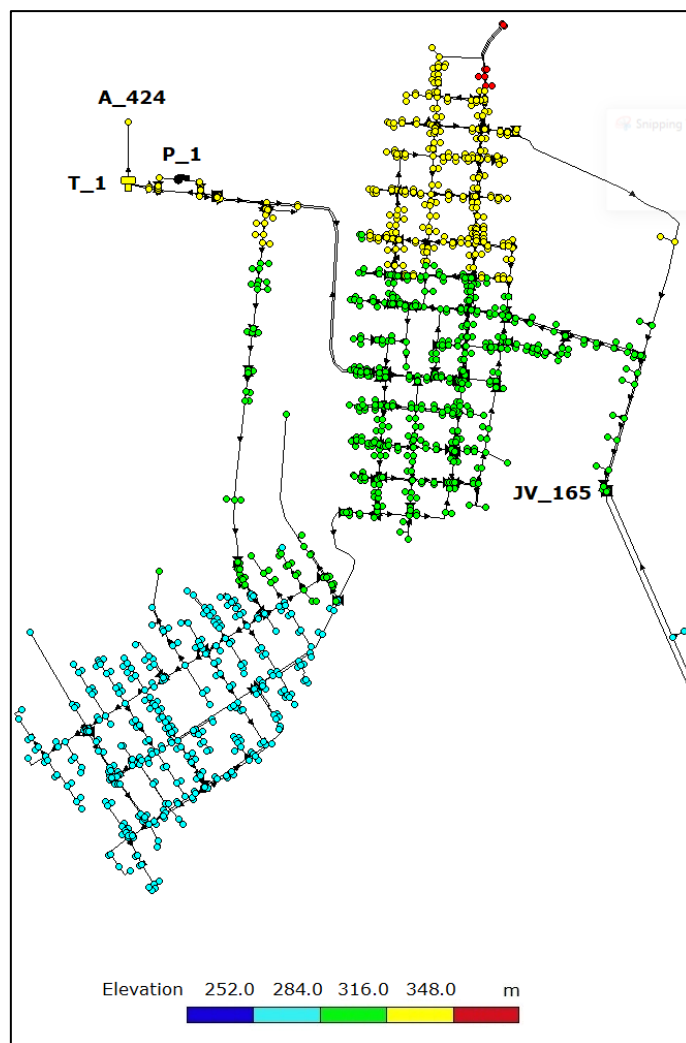
Όπως φαίνεται στις Εικόνες 6-1, 6-2 και 6-3 η δεξαμενή T_2 τροφοδοτεί με αγωγό διαμέτρου 400 mm (Φ400) τα ακόλουθα:

- το νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης,
- τη Φλόγα,
- τη δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης (που συμβολίζεται με T_1 στο EPANET), και
- το αντλιοστάσιο SH07 (που συμβολίζεται με P_1 στο EPANET).



Εικόνα 6-1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ύδρευσης Βαρυμπόμπης με τα υψόμετρα των κόμβων και τη διάταξη των δεξαμενών και του αντλιοστασίου.

Σύμφωνα με τις Εικόνες 6-1 και 6-2, οι κόμβοι κατανάλωσης στο βόρειο τμήμα της Βαρυμπόμπης βρίσκονται σε υψόμετρο που φτάνει τα 352 m. Στο νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης τα υψόμετρα μειώνονται στα 288 m και στο νότιο τμήμα της Φλόγας στα 262 m.



Εικόνα 6-2 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ύδρευσης Βαρυμπόμπης με τα υψόμετρα των κόμβων στη Φλόγα και τη Βαρυμπόμπη.

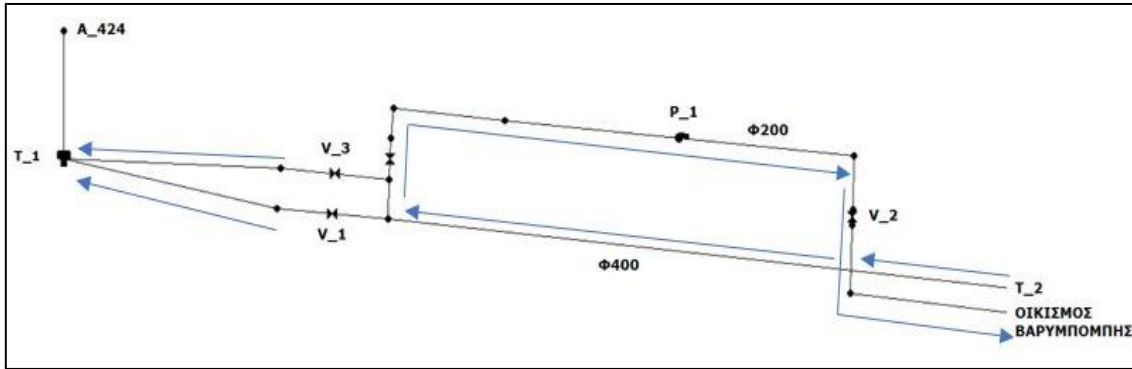
Σύμφωνα με την Εικόνα 6-2, το αντλιοστάσιο P_1 τροφοδοτεί:

- το κεντρικό και το βόρειο τμήμα της Βαρυμπόμπης μέσω καταθλιπτικού αγωγού διαμέτρου 200 mm (Φ200), και
- τμήμα δικτύου εκτός της περιοχής μελέτης μέσω του κόμβου JV_165.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-3, η δεξαμενή T_1, η οποία έχει μέγιστο φορτίο ίσο με 326.0 m, τροφοδοτεί τμήμα δικτύου εκτός της περιοχής μελέτης μέσω του κόμβου A_424. Ταυτόχρονα, η δεξαμενή T_1 συνδέεται με το δίκτυο μέσω των δικλίδων απομόνωσης V_1 και V_3.

Οι δικλίδες απομόνωσης V_1 και V_3 τίθενται σε κατάσταση λειτουργίας OPEN ή CLOSED (στο EPANET) ως εξής:

- Κλείνουν (CLOSED), όταν η δεξαμενή γεμίσει (υδρ. φορτίο στη δεξαμενή = 325.775 m, βάθος νερού = 4.275 m που αντιστοιχεί στο 95% του μέγιστου βάθους).
- Ανοίγουν (OPEN) όταν η στάθμη του νερού φτάσει την ελάχιστη τιμή της (υδρ. Φορτίο στη δεξαμενή = 322.85 m, βάθος νερού = 1.35 m που αντιστοιχεί στο 30% του μέγιστου βάθους).

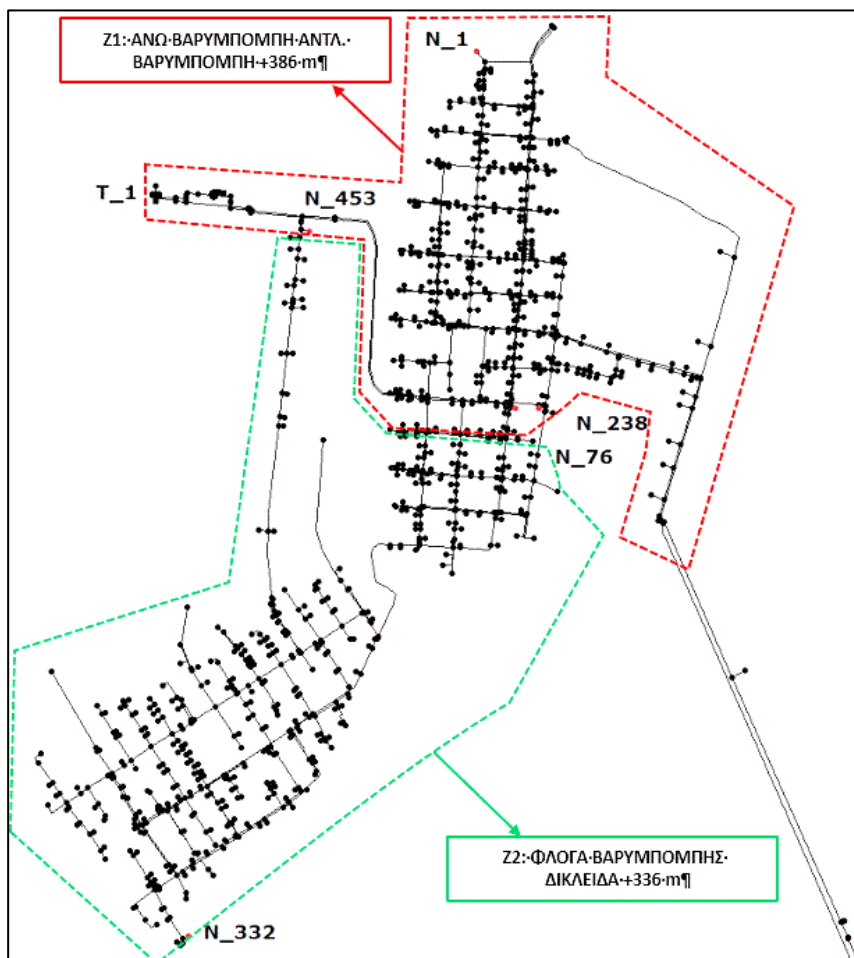


Εικόνα 6-3 Σχηματική απεικόνιση της διάταξης του αντλιοστασίου και των δικλίδων V₁ και V₃.

6.2 Υδραυλικά απομονωμένες ζώνες του δικτύου

6.2.1 Ζώνες του δικτύου

Στο εξεταζόμενο δίκτυο ύδρευσης διακρίνονται δύο υδραυλικά απομονωμένες ζώνες η Z1 και η Z2, οι οποίες φαίνονται στην Εικόνα 6-4.



Εικόνα 6-4 Σχηματική απεικόνιση των υδραυλικά απομονωμένων ζωνών Z1 και Z2 και των χαρακτηριστικών κόμβων του δικτύου ύδρευσης Βαρυμπόμης.

Στον Πίνακα 6-1 παρουσιάζονται οι κόμβοι του δικτύου που επιλέχθηκαν ως χαρακτηριστικοί, καθώς εξαιτίας του υψομέτρου τους εμφανίζουν τις μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις.

Πίνακας 6-1 Οι χαρακτηριστικοί κόμβοι του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης Βαρυμπόμπης.

Κόμβος	Ζώνη	Υψόμετρο (m)	Κόμβος	Ζώνη	Υψόμετρο (m)
N_332	Z2	261.432	N_238	Z1	298.172
N_453	Z2	319.148	N_1	Z1	345.757
N_76	Z2	299.156			

6.2.2 Κρίσιμες δικλίδες του δικτύου

Οι δύο ζώνες του δικτύου απομονώνονται μεταξύ τους με έξι δικλίδες απομόνωσης στους κοινούς τους αγωγούς, ενώ στην τροφοδοσία της ζώνης Z2 είναι εγκατεστημένος ένας μειωτής πίεσης (PRV). Οι παραπάνω επτά δικλίδες χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες δικλίδες του δικτύου και η κατάσταση λειτουργίας τους και η θέση τους φαίνονται στον Πίνακα 6-2 και στην Εικόνα 6-5, αντίστοιχα.



Εικόνα 6-5 Οι θέσεις των κρίσιμων δικλίδων στο δίκτυο ύδρευσης Βαρυμπόμπης.

Πίνακας 6-2 Κατάσταση λειτουργίας κρίσιμων δικλίδων στο υφιστάμενο δίκτυο.

Δικλίδα (ID)	Κατάσταση λειτουργίας	Δικλίδα (ID)	Κατάσταση λειτουργίας
V_9	Κλειστή	V_50	Κλειστή
V_45	PRV, Τιμή ρύθμισης = 33 m	V_54	Κλειστή
V_46	Κλειστή	V_57	Κλειστή
V_47	Κλειστή		

Οι πιέσεις στους κόμβους της ζώνης Z1 καθορίζονται από τη λειτουργία του αντλιοστασίου P_1, το οποίο διατηρεί το φορτίο του ίσο με +386.0 m, ενώ οι πιέσεις στη ζώνη Z2 καθορίζονται από τη λειτουργία του PSV (V_45) που διατηρεί το φορτίο ίσο με +336.0 m.



6.3 Παραδοχές υπολογισμών του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης

Στους υπολογισμούς προσομοίωσης του υφιστάμενου δικτύου με το EPANET θεωρήθηκαν τα ακόλουθα:

1. **Μεταβαλλόμενες συνθήκες προσομοίωσης (Extended Period).** Το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης είναι 24 h και το χρονικό βήμα της προσομοίωσης είναι 5 min.
2. **Τιμές ζήτησης στους κόμβους κατανάλωσης.** Είναι οι καταναλώσεις του 3^{ου} τριμήνου του 2022 (βλ. Υποκεφάλαιο 5.5).
3. **Μεταβολή ημερήσιας ζήτησης:** Όπως περιγράφεται στο Υποκεφάλαιο 5.5.3 (βλ. Εικόνα 5-6).
4. **Αρχικές στάθμες δεξαμενών κατά την έναρξη των υπολογισμών.** Η δεξαμενή T_1 βρίσκεται στο 95% της πληρότητάς της και η δεξαμενή T_2 βρίσκεται στο 80% της πληρότητάς της κατά την έναρξη των υπολογισμών.
5. **Λειτουργία δικλίδων.** Οι δικλίδες V_1 και V_3 κλείνουν όταν η στάθμη νερού της T_1 είναι στα 4.275 m (325.775 m υδρ.φορτίο) και ανοίγουν όταν είναι στα 1.35 m (322.85 m υδρ.φορτίο).

Όπως αναφέρθηκε στο Υποκεφάλαιο 5.7.2, για την προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης προστέθηκαν στο μοντέλο δύο νέοι κόμβοι, ο κόμβος A_424 και ο κόμβος JV_165. Η ζήτηση στους κόμβους αυτούς επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του υπό μελέτη δικτύου. Λόγω της έλλειψης των δεδομένων καταναλώσεων που εκφράζουν οι κόμβοι αυτοί και της αβεβαιότητας λόγω εκτιμήσεων, η προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης πραγματοποιήθηκε για τρεις συνδυασμούς τιμών ζήτησης νερού στους νέους κόμβους. Τα τρία σενάρια ζήτησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-3. Οι συνδυασμοί αυτοί επιλέχθηκαν με σκοπό την εξέταση της συμπεριφοράς του δικτύου για υψηλή και για χαμηλή ζήτηση νερού, καθώς:

- Η χαμηλή ζήτηση νερού στον κόμβο A_424 συνεπάγεται τη φόρτιση της δεξαμενής T_1 μία φορά ανά ημέρα, ενώ η υψηλή ζήτηση νερού δύο φορές ανά ημέρα, και
- Η χαμηλή ζήτηση νερού στον κόμβο JV_165 συνεπάγεται τη χαμηλή παροχή από το αντλιοστάσιο, ενώ η υψηλή ζήτηση νερού στον κόμβο JV_165 συνεπάγεται την υψηλή παροχή από το αντλιοστάσιο, κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Πίνακας 6-3 Χαρακτηριστικά σεναρίων ζήτησης για τον υπολογισμό υφιστάμενης κατάστασης.

Σενάριο	Ζήτηση κόμβου A_424	Ζήτηση κόμβου JV_165
	(L/s)	(L/s)
ΣΥ1	25	15
ΣΥ2	50	15
ΣΥ3	25	30

6.4 Υπολογισμοί υφιστάμενου δικτύου

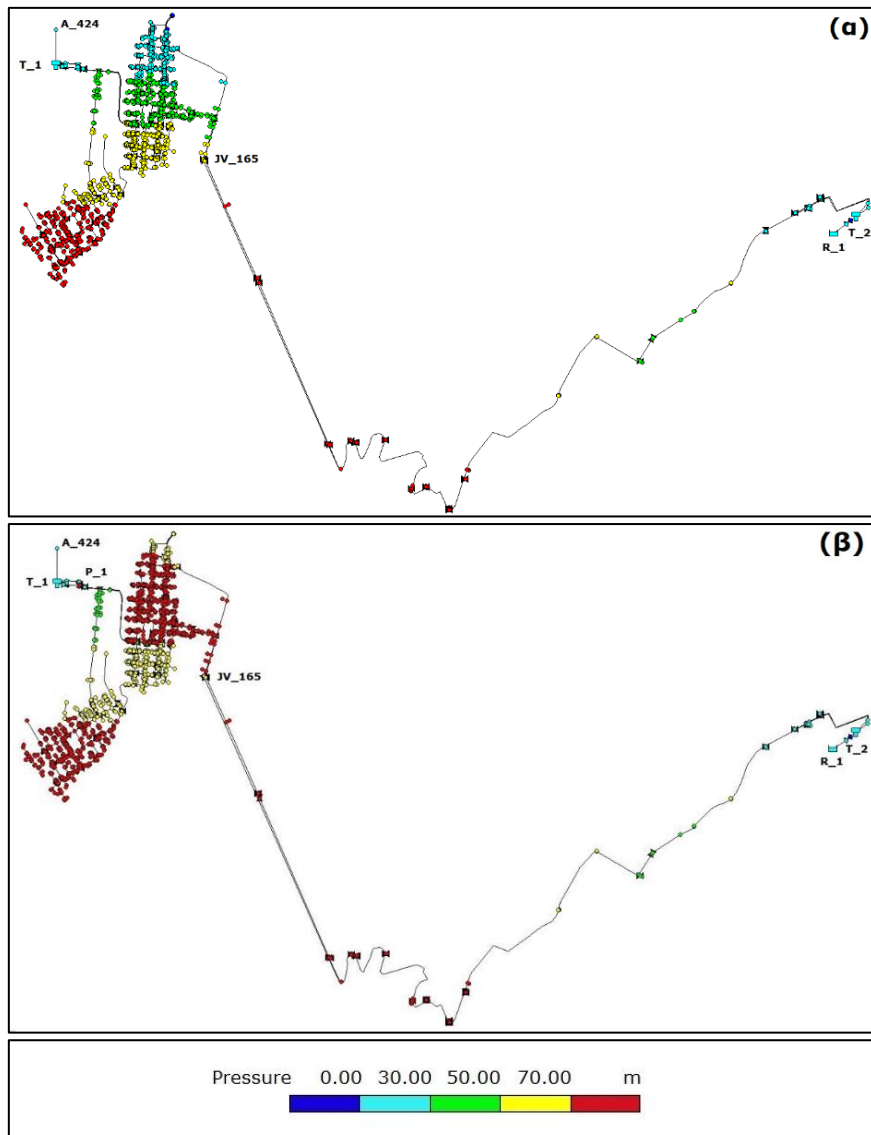
Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για τα σενάρια ζήτησης ΣΥ1, ΣΥ2 και ΣΥ3 είναι οι ακόλουθοι:

1. **Στατικές πιέσεις στους κόμβους του δικτύου.** Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί θεωρώντας ότι (α) η ζήτηση νερού (base demand) σε όλους τους κόμβους του δικτύου είναι μηδενική, και (β) ο μειωτής πίεσης V_45 δεν λειτουργεί. Στις Εικόνες 6-6α και 6-6β παρουσιάζονται οι στατικές πιέσεις στους κόμβους του δικτύου χωρίς και με το αντλιοστάσιο P_1.



2. **Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου.** Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί θεωρώντας ότι (α) οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι κλειστές, η ζήτηση είναι μικρή και οι πιέσεις λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους, και (β) οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι ανοικτές, η ζήτηση είναι μεγάλη και οι πιέσεις λαμβάνουν τις ελάχιστες τιμές τους. Οι μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις φαίνονται στην Εικόνα 6-7.
3. **Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης (T_1)** που φαίνεται στην Εικόνα 6-8.
4. **Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας που φαίνεται στην Εικόνα 6-9.**
5. **Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης που φαίνεται στην Εικόνα 6-10.**
6. **Κατανάλωση ενέργειας του δικτύου, η οποία φαίνεται στον Πίνακα 6-5.**

6.4.1 Στατικές πιέσεις στους κόμβους του δικτύου



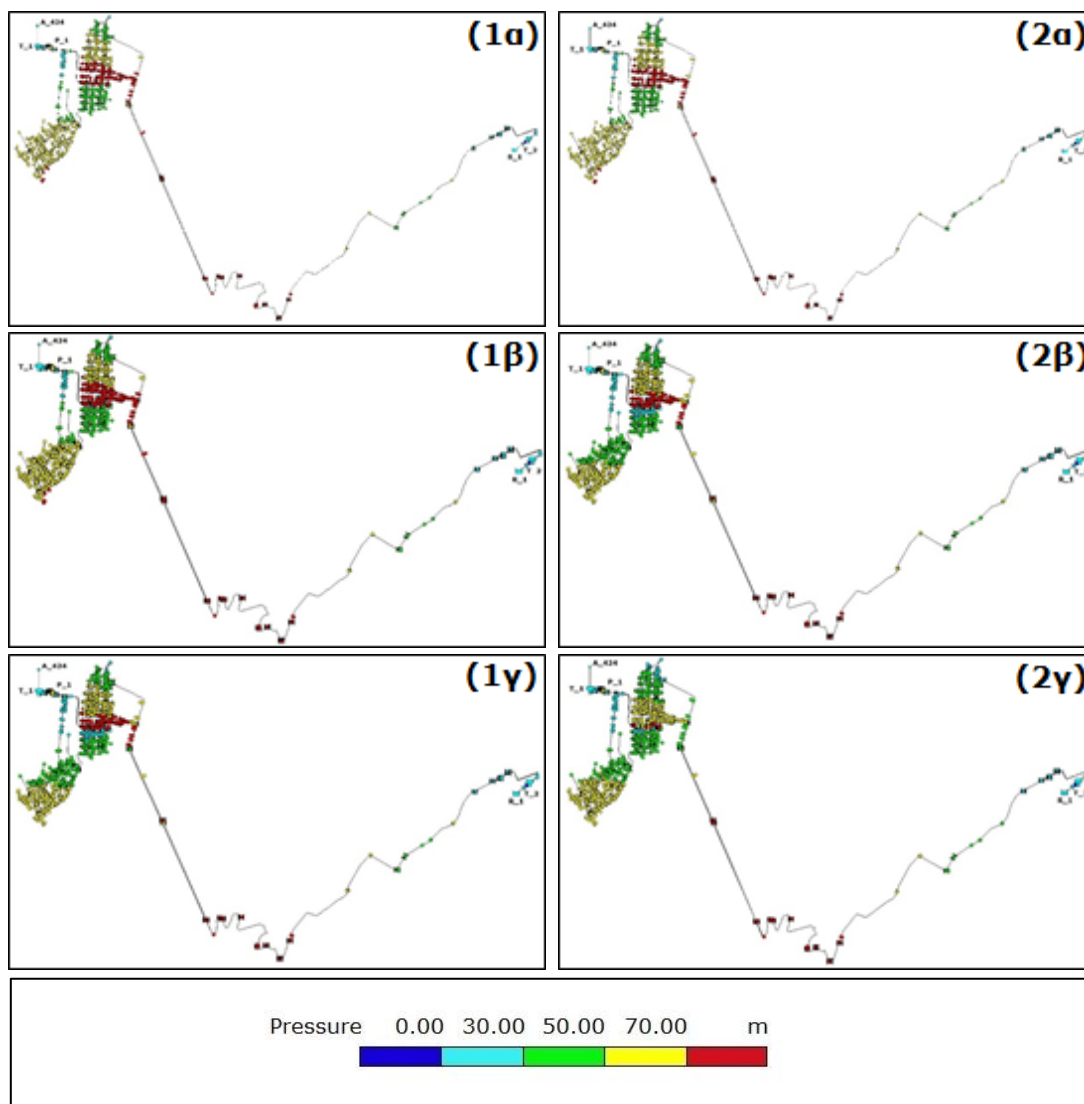
Εικόνα 6-6 Στατικές πιέσεις του υφιστάμενου δικτύου (α) χωρίς και (β) με αντλιοστάσιο.

Από τις Εικόνες 6-6α και 6-6β και τους υπολογισμούς διαπιστώνεται ότι οι πιέσεις στους κόμβους του κεντρικού και του βόρειου τμήματος της Βαρυμπόμπης εξαρτώνται από τη λειτουργία του αντλιοστασίου. Όταν αυτό δεν λειτουργεί, η πίεση στους κόμβους στο βόρειο τμήμα είναι μικρότερη από 30 m και όταν αυτό λειτουργεί η πίεση ξεπερνά τα 70 m σε όλο το κεντρικό τμήμα και στο μεγαλύτερο μέρος του βόρειου τμήματος της Βαρυμπόμπης. Σημειώνεται ότι το αντλιοστάσιο έχει μέγιστο μονομετρικό ύψος ίσο με 58 m.

Στη Φλόγα και στο νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης οι στατικές πιέσεις είναι ανεξάρτητες από τη λειτουργία ή όχι του αντλιοστασίου. Στο νότιο τμήμα της Φλόγας (κόμβοι με τα μικρότερα υψόμετρα) οι πιέσεις υπερβαίνουν τα 70 m, στο κεντρικό τμήμα της Φλόγας και στο νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m, και στο βόρειο τμήμα της Φλόγας κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m.

6.4.2 Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου

Στην Εικόνα 6-7 παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους για τα τρία σενάρια ζήτησης που εφαρμόστηκαν στο υφιστάμενο δίκτυο.



Εικόνα 6-7 Μέγιστες (1α, 1β και 1γ) και ελάχιστες (2α, 2β και 2γ) πιέσεις στους κόμβους του υφιστάμενου δικτύου για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2 και (γ) ΣΥ3.



Από την Εικόνα 6-7 και τους υπολογισμούς διαπιστώνεται ότι στο βόρειο τμήμα της Βαρυμπόμπης, οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m στους κόμβους με μεγάλο υψόμετρο, και από 50 m μέχρι 70 m στους κόμβους με μικρό υψόμετρο.

Στο κεντρικό τμήμα της Βαρυμπόμπης οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες των 70 m. Στο νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, ενώ στα σενάρια ΣΥ2 και ΣΥ3 εμφανίζονται και πιέσεις μικρότερες από 30 m σε κόμβους με μεγάλο υψόμετρο.

Στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της Φλόγας οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, στο βορειοδυτικό τμήμα είναι μικρότερες από 30 m και στο κεντρικό τμήμα της κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m (για το σενάριο ΣΥ1), και μεταξύ 30 m και 50 m (για τα σενάρια ΣΥ2 και ΣΥ3).

Στο νότιο τμήμα της Φλόγας οι πιέσεις κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m και σε ορισμένους κόμβους με μικρό υψόμετρο είναι μεγαλύτερες από 70 m.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι εμφανίζονται πολύ χαμηλές πιέσεις (από 0 m μέχρι 30 m) στις ακόλουθες περιοχές:

- στο βορειοδυτικό τμήμα της Φλόγας (για όλα τα σενάρια),
- στο νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης (για τα σενάρια ΣΥ2 και ΣΥ3), και
- σε μικρό αριθμό κόμβων στο βόρειο τμήμα της Βαρυμπόμπης.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6-4 από τους 299 κόμβους (καταναλωτές νερού), οι 31-45 έχουν πίεση μικρότερη από 30 m για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης. Το διάστημα αυτό είναι 3 ώρες και 15 min (14:15-17:30) για τα σενάρια ΣΥ1 και ΣΥ3 και 8 ώρες και 30 min (08:25-13:25 και 19:55-23:25) για το σενάριο ΣΥ2. Όταν δεν γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης 9 κόμβοι έχουν πίεση μικρότερη από 30 m. Αυτό αποτελεί αδυναμία του υφιστάμενου δικτύου.

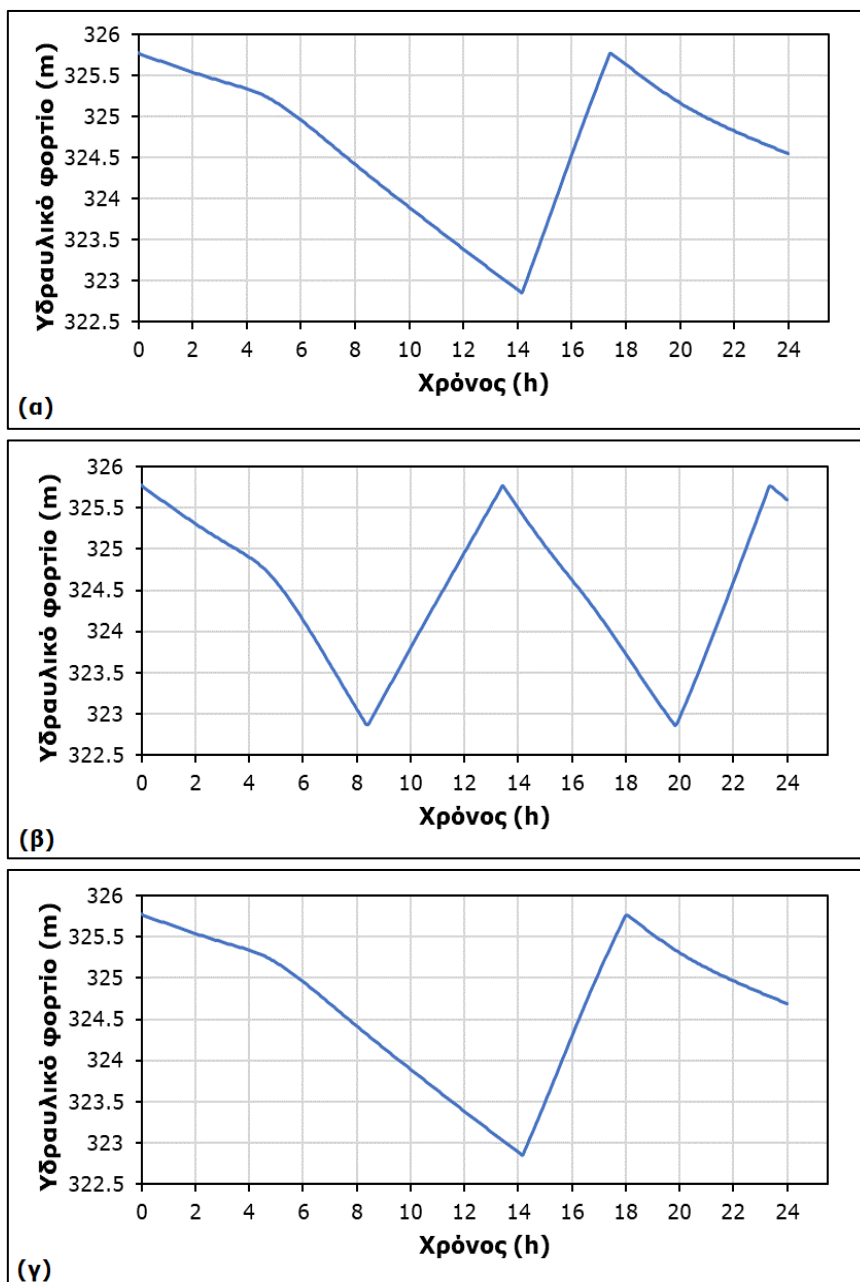
Επίσης, από τους 299 κόμβους οι 119-200 έχουν πίεση μεγαλύτερη από 50 m.

Πίνακας 6-4 Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΥ1, ΣΥ2 και ΣΥ3

Σενάριο	Κατάσταση πίεσης δικτύου	Αριθμός κόμβων δικτύου με πίεση				
		< 20 m	20 - 30 m	30 - 50 m	50 - 70 m	> 70 m
ΣΥ1	min (14:15)	8	23	102	116	50
	max (03:15)	4	5	90	129	71
ΣΥ2	min (08:25)	8	24	105	118	44
	max (03:15)	4	5	91	128	71
ΣΥ3	min (14:15)	10	35	135	118	1
	max (03:15)	4	5	92	136	62

6.4.3 Χρονική μεταβολή υδραυλικού φορτίου δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης

Στην Εικόνα 6-8 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπη για τα τρία σενάρια που εφαρμόστηκαν στο υφιστάμενο δίκτυο. Σύμφωνα με τις Εικόνες 6-8α μέχρι 6-8γ και τους υπολογισμούς, στα σενάρια ΣΥ1 και ΣΥ3 οι δικλίδες ανοίγουν μια φορά κάθε ημέρα στις 14:15 και κλείνουν στις 17:30 (δηλ. για 3 ώρες και 15 min) και στο σενάριο ΣΥ2 ανοίγουν δύο φορές την ημέρα, την πρώτη στις 08:25 και κλείνουν στις 13:25 (δηλ. για 5 ώρες), και τη δεύτερη στις 19:55 και κλείνουν στις 23:25 (δηλ. για 3 ώρες και 30 min).

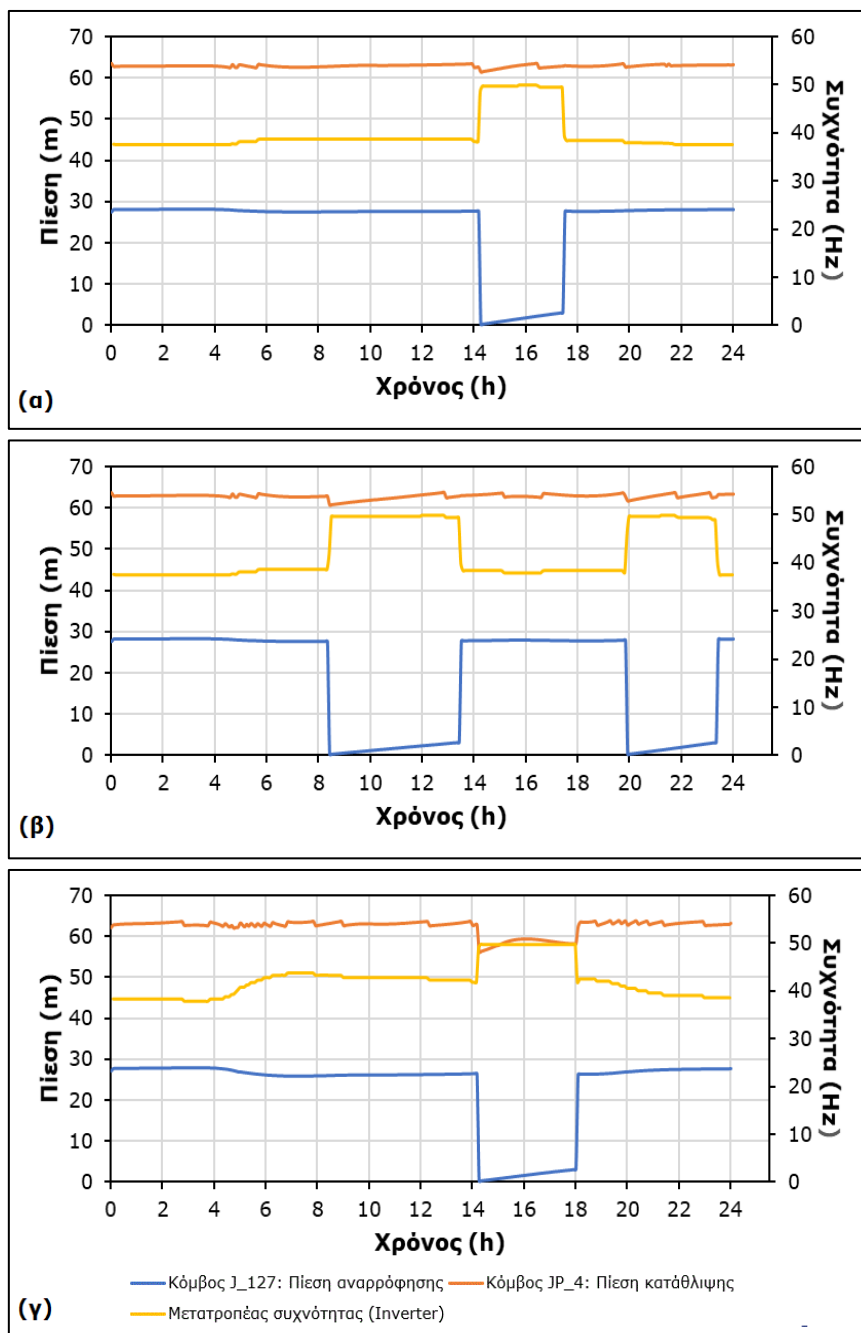


Εικόνα 6-8 Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής T_1 για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2, και (γ) ΣΥ3.

6.4.4 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας

Στην Εικόνα 6-9 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας για τα τρία σενάρια που εφαρμόστηκαν στο υφιστάμενο δίκτυο.

Από τις Εικόνες 6-9α μέχρι 6-9γ και τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η πίεση αναρρόφησης κυμαίνεται από 25.9 m μέχρι 28.2 m όταν οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι κλειστές, και μειώνεται μέχρι πολύ χαμηλές τιμές (<3 m) όταν οι δικλίδες είναι ανοικτές. Αυτές τις μικρές πιέσεις προσπαθεί να αυξήσει το αντλιοστάσιο αυξάνοντας τη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας, ο οποίος έχει μέγιστη τιμή τα 50 Hz και τιμή ρύθμισης 63 m στην πίεση κατάθλιψης.



Εικόνα 6-9 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2, και (γ) ΣΥ3.

Παρατηρώντας την Εικόνα 6-9, όταν οι δικλίδες παραμένουν κλειστές, στα σενάρια ΣΥ1 και ΣΥ2 που η παροχή της αντλίας είναι μικρή, ο μετατροπέας συχνότητας λειτουργεί μεταξύ 37 Hz και 40 Hz. Στο σενάριο ΣΥ3, όπου η παροχή της αντλίας είναι μεγαλύτερη, η συχνότητα είναι αυξημένη και κυμαίνεται μεταξύ 38 Hz και 43 Hz.

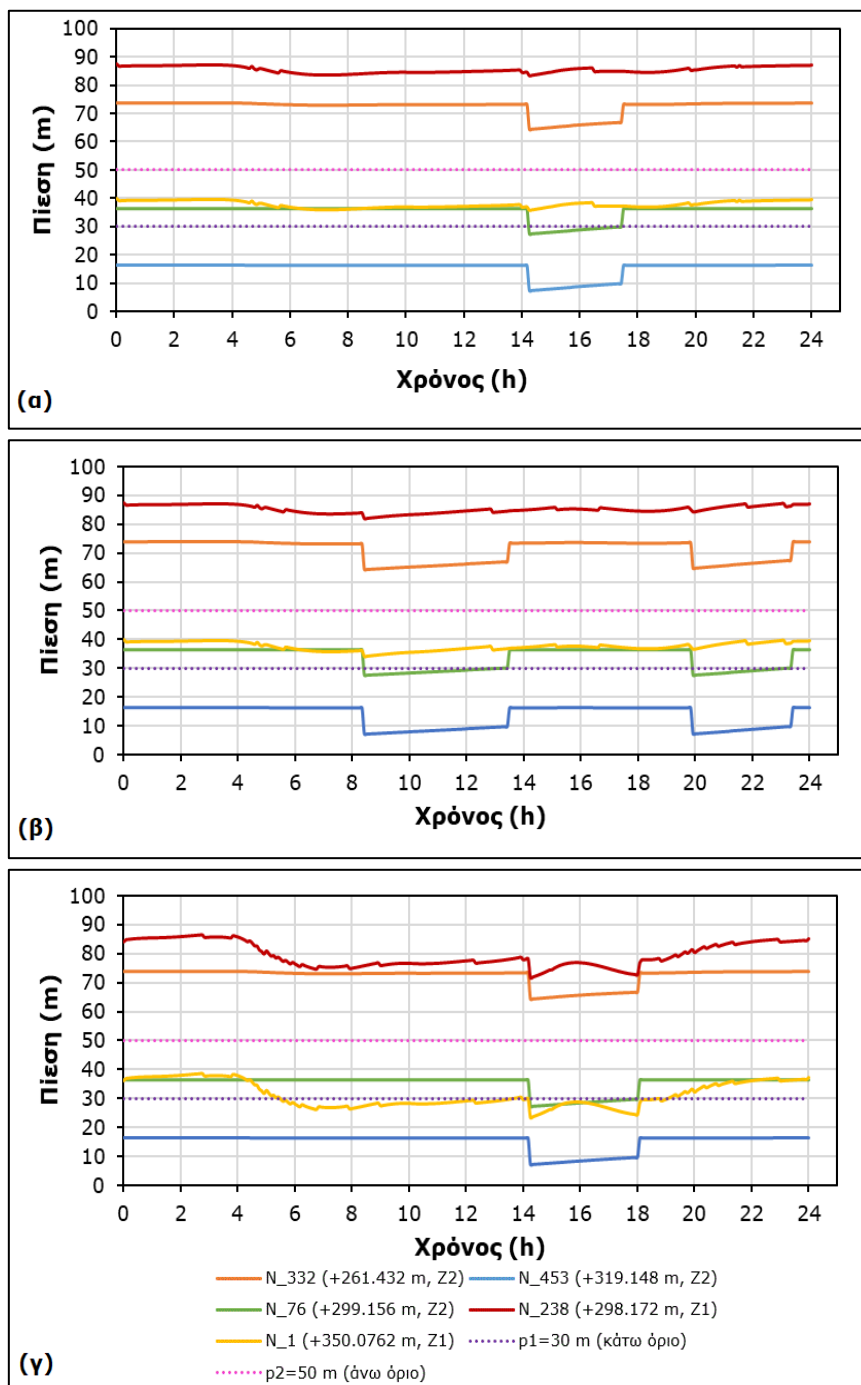
Όταν οι δικλίδες παραμένουν ανοιχτές, η συχνότητα μεγιστοποιείται (50 Hz). Ωστόσο, η ισχύς του αντλιοστασίου δεν επαρκεί και η ελάχιστη τιμή της πίεσης στην κατάθλιψη είναι μικρότερη από την τιμή ρύθμισης. Στα σενάρια ΣΥ1 και ΣΥ2, η πίεση στην κατάθλιψη φτάνει τα 61.34 m και στο σενάριο ΣΥ3 φτάνει τα 56.08 m, δηλ. από 1.66 m μέχρι 6.92 m μικρότερη του σημείου ρύθμισης (63 m).



Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι, το αντλιοστάσιο αδυνατεί να διατηρήσει την πίεση στην τιμή ρύθμισης. Επιπλέον, οι απαιτήσεις συντήρησης θα είναι αυξημένες λόγω των απότομων μεταβολών της πίεσης και λόγω της πολύ χαμηλής πίεσης στον αγωγό αναρρόφησης του αντλιοστασίου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα και την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας.

6.4.5 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης

Στην Εικόνα 6-10 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιέσεων σε χαρακτηριστικούς κόμβους κατανάλωσης του δικτύου για τα τρία σενάρια που εφαρμόστηκαν στο υφιστάμενο δίκτυο.



Εικόνα 6-10 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) ΣΥ1, (β) ΣΥ2, και (γ) ΣΥ3.



Από την Εικόνα 6-10 και τους υπολογισμούς για τα σενάρια ΣΥ1 και ΣΥ2, προκύπτει ότι η πτώση πίεσης που προκαλείται κατά τη φόρτιση της δεξαμενής Νέας Βαρυμπόμπης επηρεάζει μόνο τους κόμβους κατανάλωσης που τροφοδοτούνται απευθείας από τη δεξαμενή Άνοιξης. Η πτώση πίεσης που προκαλείται κυμαίνεται από 5 m μέχρι 10 m. Στο σενάριο ΣΥ3, η πτώση πίεσης λόγω της φόρτισης της δεξαμενής επηρεάζει και τους κόμβους κατανάλωσης που τροφοδοτούνται από το αντλιοστάσιο, καθώς αυτό δεν μπορεί να υπερκαλύψει την απαιτούμενη διαφορά πίεσης μεταξύ της αναρρόφησης και της κατάθλιψης.

Είναι φανερό ότι η πλειοψηφία των χαρακτηριστικών κόμβων του δικτύου λαμβάνουν πιέσεις εκτός των επιθυμητών ορίων πίεσης (30-50 m). Οι κόμβοι που λειτουργούν εντός των επιθυμητών ορίων πίεσης είναι οι N_1 και N_76, οι οποίοι βρίσκονται στις θέσεις με το μεγαλύτερο υψόμετρο για τις ζώνες Z1 και Z2, αντίστοιχα.

Οι κόμβοι N_238 και N_332 εμφανίζουν πιέσεις μεγαλύτερες των 70 m και βρίσκονται στις θέσεις με το μικρότερο υψόμετρο για τις ζώνες Z1 και Z2, αντίστοιχα.

Ο κόμβος N_453 βρίσκεται στο μεγαλύτερο υψόμετρο της ζώνης Z2 και το νερό φτάνει στον κόμβο αφού πραγματοποιηθεί η τροφοδοσία χαμηλότερων κόμβων της ζώνης. Οι πιέσεις που εμφανίζονται στον κόμβο είναι μικρότερες των 20 m υποβαθμίζοντας την ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών.

6.4.6 Κατανάλωση ενέργειας στο προτεινόμενο δίκτυο

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6-4 και τους υπολογισμούς, η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται από 300.59 kWh μέχρι 463.27 kWh και φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της ζήτησης του κόμβου JV_165 και με τη χαμηλότερη πίεση αναρρόφησης του αντλιοστασίου.

Στο σενάριο ΣΥ1, όπου η ζήτηση στον κόμβο JV_165 είναι η μικρότερη, η κατανάλωση ενέργειας είναι 300.59 kWh. Στο σενάριο ΣΥ2, όπου η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης φορτίζει δύο φορές, η πίεση στην αναρρόφηση είναι μικρότερη για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στις 343.45 kWh. Στο σενάριο ΣΥ3, όπου η ζήτηση στον κόμβο JV_165 διπλασιάζεται, η κατανάλωση ενέργειας είναι υψηλότερη σε σχέση με τα άλλα σενάρια (463.27 kWh). Η κατανάλωση ενέργειας μεγιστοποιείται κατά τη διάρκεια που φορτίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης, καθώς μεγιστοποιείται η απορρόφηση ηλεκτρικής ισχύος και η συχνότητα λειτουργίας.

Η μέση τιμή της απόδοσης του αντλιοστασίου είναι χαμηλή. Στα σενάρια ΣΥ1 και ΣΥ2, η μέση τιμή της απόδοσης είναι 51%, και αυξάνεται στο 64% στο ΣΥ3. Η απόδοση ελαχιστοποιείται τις πρώτες πρωινές ώρες, όταν η παροχή του αντλιοστασίου ελαχιστοποιείται.

Πίνακας 6-5 Κατανάλωση ενέργειας του υφιστάμενου δικτύου.

Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας	Ηλεκτρική Ισχύς	Μέση απόδοση	Συχνότητα λειτουργίας Inverter	Μανομετρικό ύψος
	kWh	kW	%	Hz	m
ΣΥ1	300.59	8.62 - 20.78	51.0	37.62 - 49.98	34.46 - 61.50
ΣΥ2	343.45	8.62 - 22.36	51.2	37.62 - 49.98	34.46 - 61.92
ΣΥ3	463.27	10.72 - 30.80	63.7	37.76 - 49.75	34.56 - 57.78



6.5 Σχολιασμός υπολογισμών υφιστάμενου δικτύου

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνονται τα ακόλουθα για το υφιστάμενο δίκτυο:

1. **Λειτουργία δικτύου εκτός των επιθυμητών ορίων πίεσης.** Από τους 299 κόμβους (καταναλωτές νερού) οι 31-45 έχουν πίεση μικρότερη από 30 m για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης. Όταν δεν γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης 9 κόμβοι έχουν πίεση μικρότερη από 30 m. Επίσης, από τους 299 κόμβους οι 119-200 έχουν πίεση μεγαλύτερη από 50 m.
2. **Καταπόνηση δικτύου αγωγών και αντλιοστασίου.** Για τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης προκαλείται απότομη πτώση πίεσης που ξεπερνά τα 26.32 m. Η πτώση αυτή καταπονεί κυρίως τους αγωγούς του δικτύου της Φλόγας και το αντλιοστάσιο, όπου η πίεση αναρρόφησης είναι μικρότερη των 3.0 m και ενδέχεται να εμφανιστεί σπηλαίωση και μείωση της απόδοσής του.
3. **Λειτουργία αντλιοστασίου εκτός ονομαστικού σημείου.** Η λειτουργία του αντλιοστασίου ρυθμίζεται από τον μετατροπέα συχνότητας με σκοπό τη διατήρηση της πίεσης κατάθλιψης στα 63.0 m (τιμή ρύθμισης). Για την αντιστάθμιση της πτώσης πίεσης που προκαλείται όταν φορτίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης, η συχνότητα αυξάνεται στο μέγιστο (50 Hz), ωστόσο η ισχύς του αντλιοστασίου δεν επαρκεί και η πίεση κατάθλιψης είναι μικρότερη του σημείου ρύθμισης. Η διαφορά «τιμή ρύθμισης» - «πίεση κατάθλιψης» κυμαίνεται από 1.66 m μέχρι 6.92 m και αυξάνεται με την αύξηση της ζήτησης νερού.



7 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ 1: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΚΛΙΔΩΝ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

7.1 Σενάρια προτεινόμενων επεμβάσεων

Στο εξεταζόμενο δίκτυο ύδρευσης μπορεί να διερευνηθούν πολλοί συνδυασμοί επεμβάσεων. Στο σενάριο επεμβάσεων 1 εξετάζεται ενδεικτικά μια μικρή επέμβαση για την αντιμετώπιση της πτώσης της πίεσης που προκαλείται από το άνοιγμα των δικλίδων V_1 και V_3 για τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης και προσδιορίζονται οι επιπτώσεις της.

Ειδικότερα, προτείνεται η εγκατάσταση δυο δικλίδων διατήρησης πίεσης (Pressure Sustaining Valves – PSVs), ανάντη των δικλίδων V_1 και V_3 για τον έλεγχο της πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης και στον αγωγό αναρρόφησης του αντλιοστασίου μέσω του καθορισμού των τιμών ρύθμισης των PSVs.

Με βάση τα παραπάνω, επαναλήφθηκαν για το προτεινόμενο δίκτυο οι υπολογισμοί των σεναρίων ζήτησης του υφιστάμενου δικτύου για δύο τιμές ρύθμισης των PSVs για κάθε σενάριο, δηλ. συνολικά για 6 σενάρια (3 σενάρια ζήτησης x 2 τιμές ρύθμισης PSVs) με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 7-1. Κατά τους υπολογισμούς εφαρμόστηκαν οι παραδοχές υπολογισμών που αναφέρονται στο Υποκεφάλαιο 6.3.

Οι τιμές ρύθμισης των PSVs προσδιορίστηκαν με δοκιμαστικούς υπολογισμούς που εξασφάλιζαν ότι η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης είναι γεμάτη στο τέλος κάθε ημέρας. Η μεγάλη τιμή ρύθμισης εκφράζει χρονικά μακρά φόρτιση της δεξαμενής T_1, ενώ η μικρή τιμή βραχεία φόρτιση της δεξαμενής. Επιπλέον, τροποποιήθηκε η εναλλαγή της κατάστασης λειτουργίας των δικλίδων V_1 και V_3 (OPEN ή CLOSED), όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 7-1, με τις οποίες αποφεύγεται η υπερχειλίση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης.

Πίνακας 7-1 Χαρακτηριστικά σεναρίων υπολογισμών του προτεινόμενου δικτύου.

Σενάριο	Αντιστοιχία με σενάριο υφιστάμενου δικτύου	Ζήτηση κόμβου A_424	Ζήτηση κόμβου JV_165	Τιμή ρύθμισης των PSVs	Στάθμη ανοίγματος δικλίδων V_1 και V_3	Στάθμη κλεισίματος δικλίδων V_1 και V_3
		L/s	L/s	m	m	m
ΣΕ1	ΣΥ1	25.0	15.0	21.0	1.35	4.275
ΣΕ4	ΣΥ1	25.0	15.0	25.3	3.90	4.275
ΣΕ2	ΣΥ2	50.0	15.0	17.8	1.35	4.275
ΣΕ5	ΣΥ2	50.0	15.0	21.5	3.90	4.275
ΣΕ3	ΣΥ3	25.0	30.0	18.5	1.35	4.275
ΣΕ6	ΣΥ3	25.0	30.0	23.2	3.90	4.275

7.2 Υπολογισμοί προτεινόμενου δικτύου

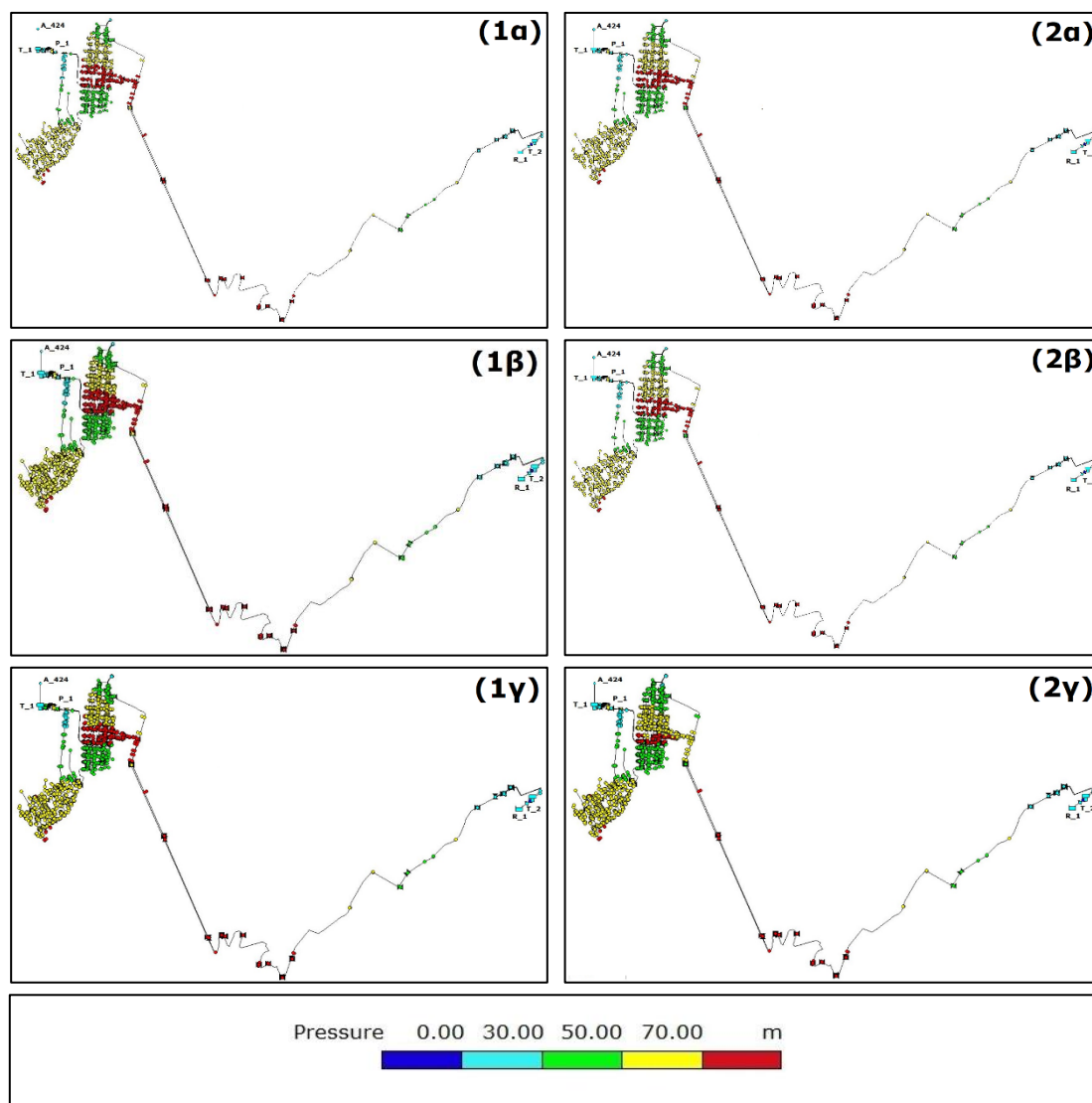
Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για τα σενάρια ΣΕ1 μέχρι ΣΕ6 είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου.** Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί θεωρώντας ότι (1) οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι κλειστές, η ζήτηση είναι μικρή και οι πιέσεις λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους και (2) οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι ανοικτές, η ζήτηση είναι μεγάλη και οι πιέσεις λαμβάνουν τις ελάχιστες τιμές τους. Οι μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις φαίνονται στις Εικόνες 7-1 και 7-2. Ο αριθμός των κόμβων κατανάλωσης ανά έυρος πίεσης φαίνεται στους Πίνακες 7-2, 7-3 και 7-4.
- Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης (T_1) για τα έξι σενάρια που φαίνεται στην Εικόνα 7-5.**

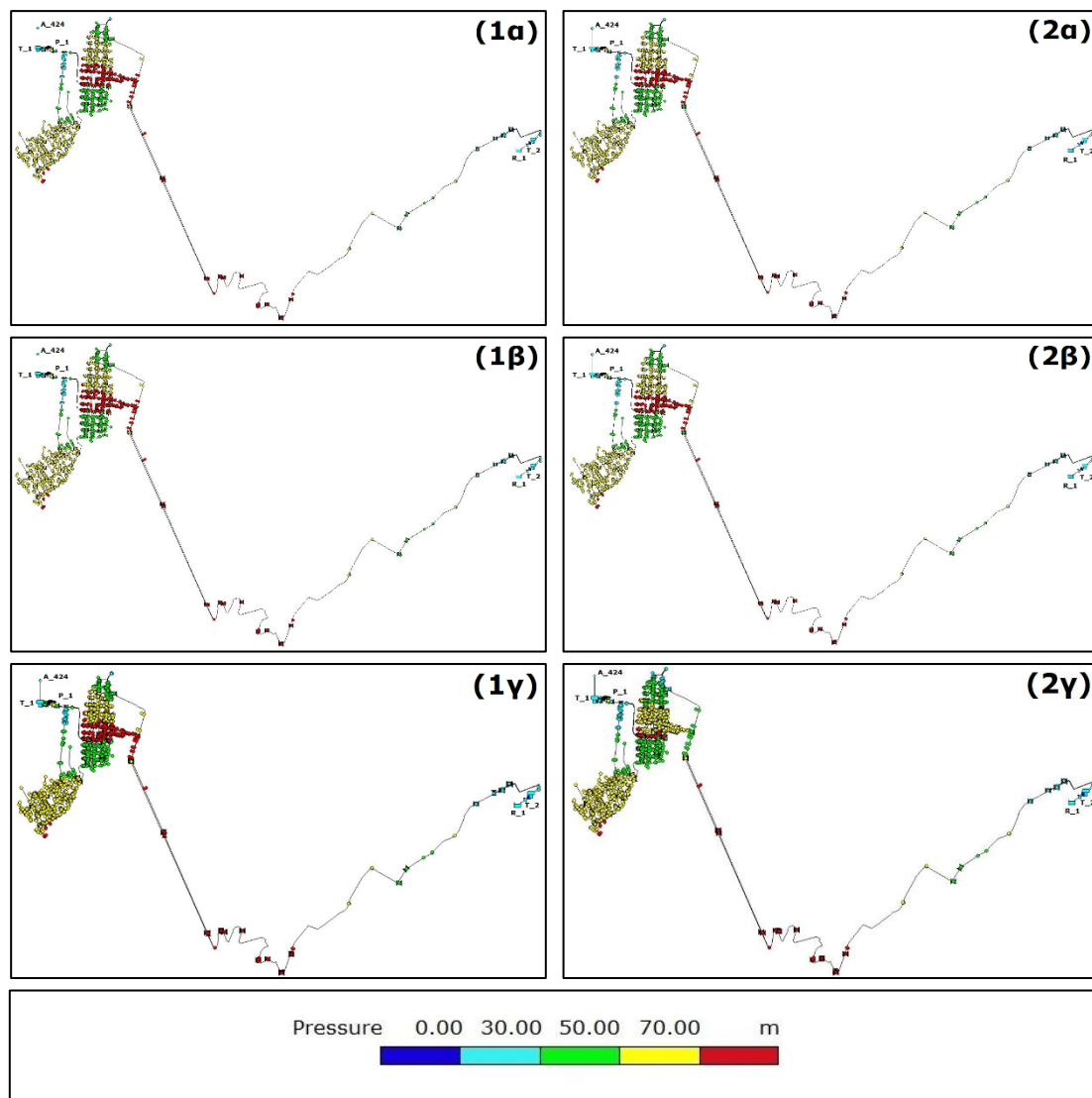
3. Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας για τα έξι σενάρια που φαίνεται στις Εικόνες 7-6 και 7-7.
4. Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα έξι σενάρια που φαίνεται στις Εικόνες 7-8 και 7-9.
5. Κατανάλωση ενέργειας του δικτύου, η οποία φαίνεται στον Πίνακα 7-6 για τα έξι σενάρια.

7.2.1 Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου

Στις Εικόνες 7-1 και 7-2 παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους κατανάλωσης για τα σενάρια του προτεινόμενου δικτύου.



Εικόνα 7-1 Μέγιστες (1α, 1β και 1γ) και ελάχιστες (2α, 2β και 2γ) πιέσεις στους κόμβους του προτεινόμενου δικτύου για τα σενάρια (α) ΣΕ1, (β) ΣΕ2 και (γ) ΣΕ3.



Εικόνα 7-2 Μέγιστες (1α, 1β και 1γ) και ελάχιστες (2α, 2β και 2γ) πιέσεις στους κόμβους του προτεινόμενου δικτύου για τα σενάρια (α) ΣΕ4, (β) ΣΕ5 και (γ) ΣΕ6.

Από τις Εικόνες 7-1 και 7-2 διαπιστώνεται ότι στο βόρειο τμήμα της Βαρυμπόμπης οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m στους κόμβους με μεγάλο υψόμετρο, και από 50 m μέχρι 70 m στους κόμβους με μικρό υψόμετρο. Στο κεντρικό τμήμα της Βαρυμπόμπης οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες των 70 m και στο νότιο τμήμα της κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m.

Στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της Φλόγας οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, στο βορειοδυτικό τμήμα είναι μικρότερες από 30 m και στο κεντρικό τμήμα της κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m. Στο νότιο τμήμα της Φλόγας οι πιέσεις κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m σε κόμβους με μικρό υψόμετρο και είναι μεγαλύτερες των 70 m σε κόμβους με χαμηλό υψόμετρο.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι στο βόρειο και το νότιο τμήμα της Βαρυμπόμπης οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες από 30 m, δηλ. μειώνεται η έκταση των περιοχών με χαμηλή πίεση σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο, και μόνο στο βορειοδυτικό τμήμα της Φλόγας εμφανίζονται πολύ χαμηλές πιέσεις (< 30 m).



Στους Πίνακες 7-2, 7-3 και 7-4 παρουσιάζεται ο αριθμός των κόμβων κατανάλωσης που εμφανίζεται σε κάθε εύρος πίεσης για κάθε σενάριο του προτεινόμενου δικτύου. Οι χρονικές στιγμές που επιλέχθηκαν ορίζουν τη στιγμή που οι κόμβοι του δικτύου λαμβάνουν μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις.

Πίνακας 7-2 Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΕ1 και ΣΕ4.

Σενάριο	Κατάσταση πίεσης δικτύου	Αριθμός κόμβων δικτύου με πίεση				
		< 20 m	20 - 30 m	30 - 50 m	50 - 70 m	> 70 m
ΣΕ1	min (14:15)	4	5	95	136	59
	max (03:15)	4	5	90	129	71
ΣΕ4	min (03:25)	4	5	91	128	71
	max (03:15)	4	5	90	129	71

Πίνακας 7-3 Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΕ2 και ΣΕ5.

Σενάριο	Κατάσταση πίεσης δικτύου	Αριθμός κόμβων δικτύου με πίεση				
		< 20 m	20 - 30 m	30 - 50 m	50 - 70 m	> 70 m
ΣΕ2	min (08:25)	4	5	95	138	57
	max (03:15)	4	5	91	128	71
ΣΕ5	min (04:30)	4	5	92	130	68
	max (03:15)	4	5	91	128	71

Πίνακας 7-4 Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΕ2 και ΣΕ5.

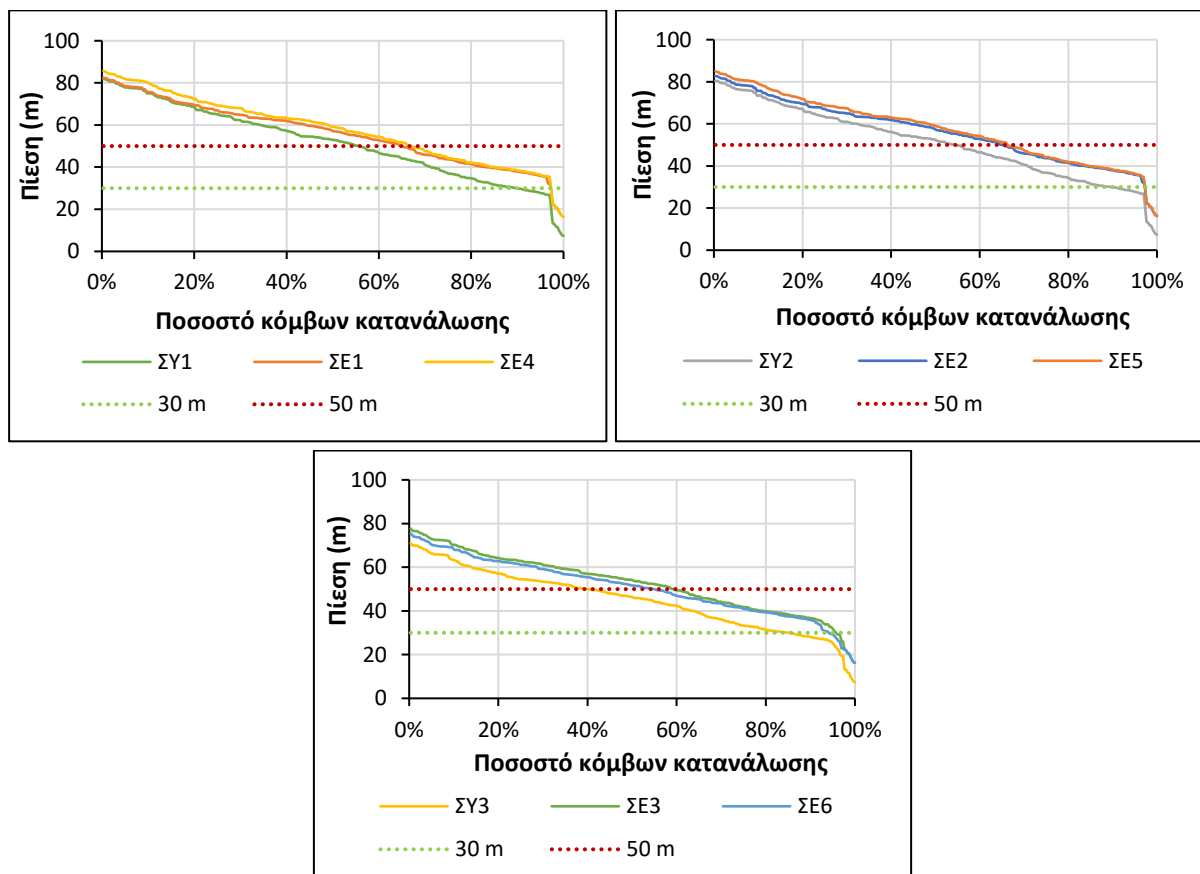
Σενάριο	Κατάσταση πίεσης δικτύου	Αριθμός κόμβων δικτύου με πίεση				
		< 20 m	20 - 30 m	30 - 50 m	50 - 70 m	> 70 m
ΣΕ3	min (14:15)	4	9	109	146	31
	max (03:15)	4	5	92	136	62
ΣΕ6	min (06:30)	4	14	117	147	17
	max (03:15)	4	5	92	136	62

Στα σενάρια του προτεινόμενου δικτύου, από τους 299 κόμβους (καταναλωτές νερού), οι 9-13 έχουν πίεση μικρότερη από 30 m για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης. Ο αριθμός αυτός είναι μειωμένος κατά 72% σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7-5 και στην Εικόνα 7-3. Όταν δεν γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης 9 κόμβοι έχουν πίεση μικρότερη από 30 m. Από τους 299 κόμβους κατανάλωσης οι 163 - 200 έχουν πίεση μεγαλύτερη από 50 m, όπως στο υφιστάμενο δίκτυο. Η προσθήκη των PSVs διατηρεί υψηλές πιέσεις στους κόμβους με πίεση μεγαλύτερη από 50 m, κατά τη διάρκεια της φόρτισης της δεξαμενής.

Σύμφωνα με την Εικόνα 7-3, από τους 299 κόμβους κατανάλωσης στο σενάριο επεμβάσεων 1 (ΣΕ1, ΣΕ2, ΣΕ3, ΣΕ4, ΣΕ5 και ΣΕ6), το 30% με 39% έχει πίεση εντός των επιθυμητών ορίων δηλ. 30-50 m. Στο υφιστάμενο δίκτυο τα ποσοστά αυτά είναι 30% με 45%.

Πίνακας 7-5 Σύγκριση υφιστάμενου με προτεινόμενο δίκτυο. Ποσοστό μείωσης των κόμβων κατανάλωσης νερού με πίεση < 30 m.

Ώρα έναρξης φόρτισης	Αριθμός κόμβων με πίεση <30 m		Ποσοστό μείωσης των κόμβων
	Υφιστάμενο	Προτεινόμενο	
14:15	31 (ΣΥ1)	9 (ΣΕ1, ΣΕ4)	71%
8:25	32 (ΣΥ2)	9 (ΣΕ2, ΣΕ5)	72%
19:55	31 (ΣΥ2)	9 (ΣΕ2, ΣΕ5)	71%
14:15	45 (ΣΥ3)	13, 18 (ΣΕ3, ΣΕ6)	60-71%



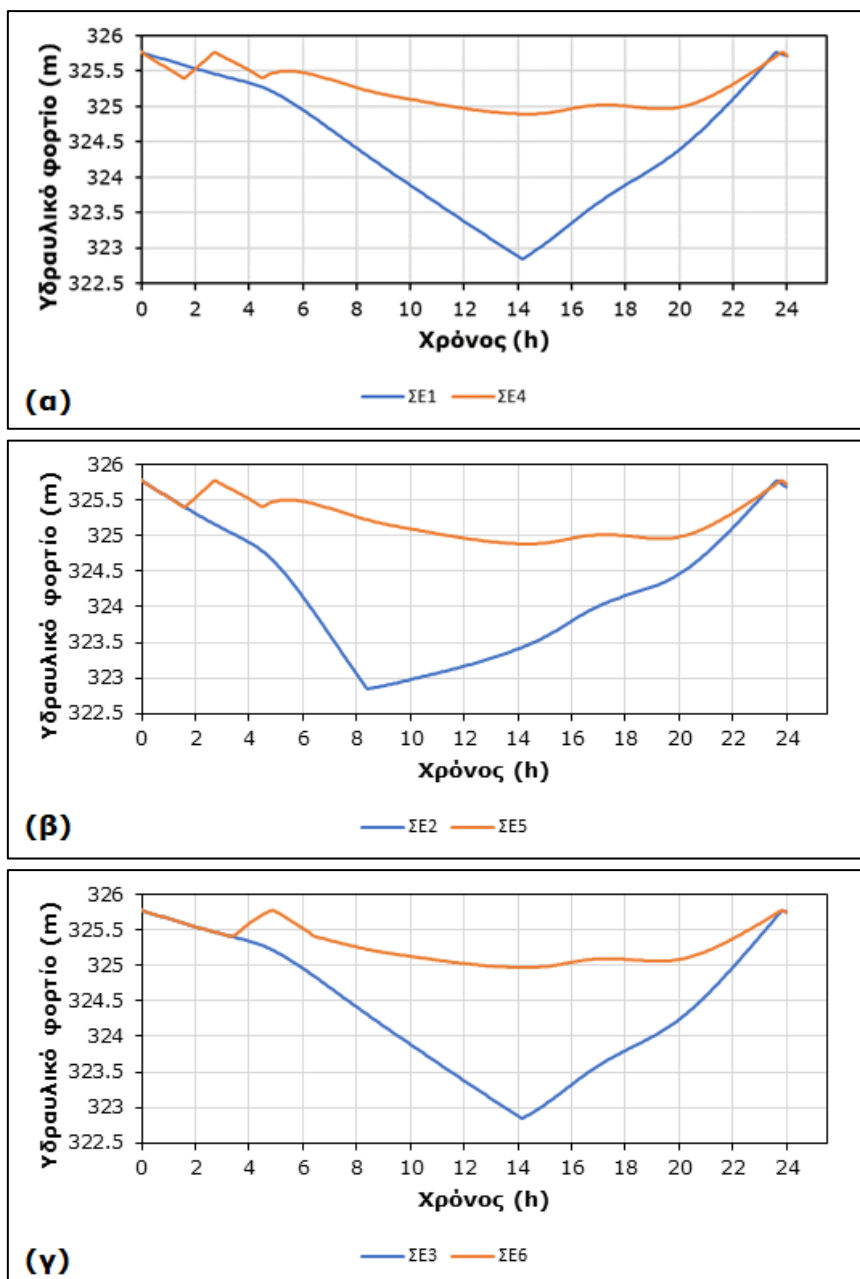
Εικόνα 7-3 Ποσοστό κόμβων κατανάλωσης ανά πίεση. Σύγκριση υφιστάμενου με το δίκτυο του σεναρίου επεμβάσεων 1.

7.2.2 Χρονική μεταβολή υδραυλικού φορτίου δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης

Στην Εικόνα 7-4 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης για τα σεναρία του προτεινόμενου δικτύου.

Από την Εικόνα 7-4 και τους υπολογισμούς φαίνεται ότι η μεταβολή της στάθμης της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης και το χρονικό διάστημα που γεμίζει η δεξαμενή εξαρτάται από:

1. Την τιμή ρύθμισης των PSVs, και
2. Τις στάθμες που ορίζουν την εναλλαγή της κατάστασης λειτουργίας των δικλίδων V_1 και V_3.



Εικόνα 7-4 Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής T_1 για τα σενάρια (α) ΣΕ1 και ΣΕ4, (β) ΣΕ2 και ΣΕ5 και (γ) ΣΕ3 και ΣΕ6.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-4, το διάστημα που γεμίζει η δεξαμενή είναι 9 ώρες και 15 min (14:15-23:55) για τα σενάρια ΣΕ1 και ΣΕ3, 15 ώρες και 10 min (08:25-23:55) για το σενάριο ΣΕ2, 18 ώρες και 20 min (03:25-21:45) για το σενάριο ΣΕ4, 19 ώρες και 15 min (01:30-02:40 και 03:40-23:45) για το σενάριο ΣΕ5 και 17 ώρες και 15 min (03:25-04:50 και 06:30-23:45) για το ΣΕ6.

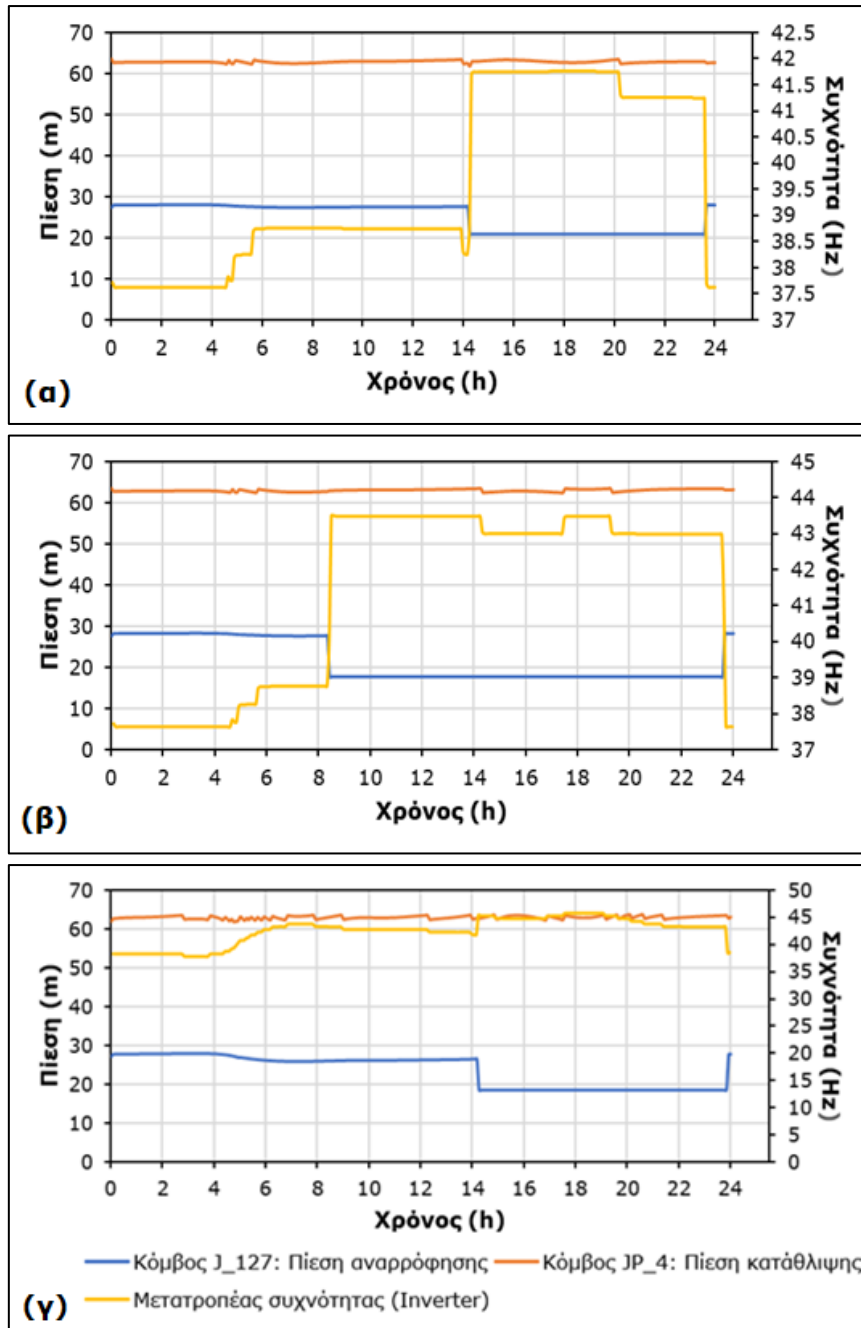
Συγκρίνοντας τα σενάρια ΣΕ1, ΣΕ2 και ΣΕ3 με τα σενάρια ΣΕ4, ΣΕ5 και ΣΕ6, αντίστοιχα, βλέπουμε ότι στα σενάρια ΣΕ4, ΣΕ5 και ΣΕ6 η φόρτιση της δεξαμενής ξεκινά νωρίτερα και διαρκεί περισσότερο, ενώ η νέα ρύθμιση της κατάστασης λειτουργίας των δικλίδων V_1 και V_3 διατηρεί τη στάθμη της δεξαμενής σε υψηλότερα επίπεδα.

Με βάση τα παραπάνω και σε σύγκριση με το υφιστάμενο δίκτυο, στο προτεινόμενο δίκτυο η διάρκεια φόρτισης της δεξαμενής κυμαίνεται από 9 h και 15 min μέχρι 20 h και 25 min, και είναι μεγαλύτερη

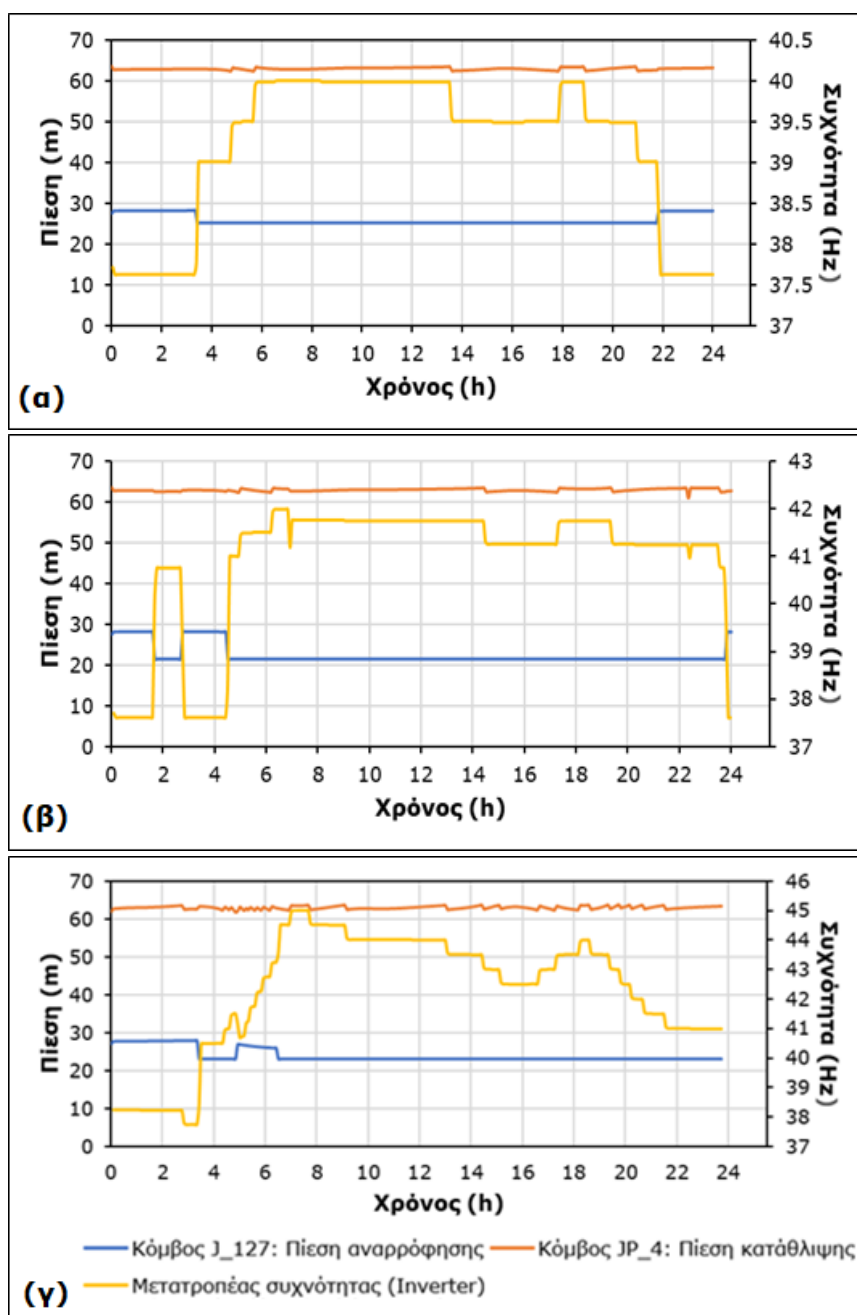
από αυτή που υπολογίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο, η οποία κυμαίνεται από 3 h και 15 min μέχρι 8 h και 30 min.

7.2.3 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας

Στις Εικόνες 7-5 και 7-6 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.



Εικόνα 7-5 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας για τα σενάρια (α) ΣΕ1, (β) ΣΕ2 και (γ) ΣΕ3.



Εικόνα 7-6 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας για τα σενάρια (α) ΣΕ4, (β) ΣΕ5 και (γ) ΣΕ6.

Η πίεση αναρρόφησης κυμαίνεται από 25.9 m μέχρι 28.2 m, όταν οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι κλειστές, και μειώνεται μέχρι την τιμή ρύθμισης των PSVs, δηλ. 21.0 m, 17.8 m, 18.5 m, 25.3 m, 21.5 m, 23.2 m, για τα σενάρια ΣΕ1 μέχρι ΣΕ6, αντίστοιχα, όταν οι δικλίδες είναι ανοιχτές.

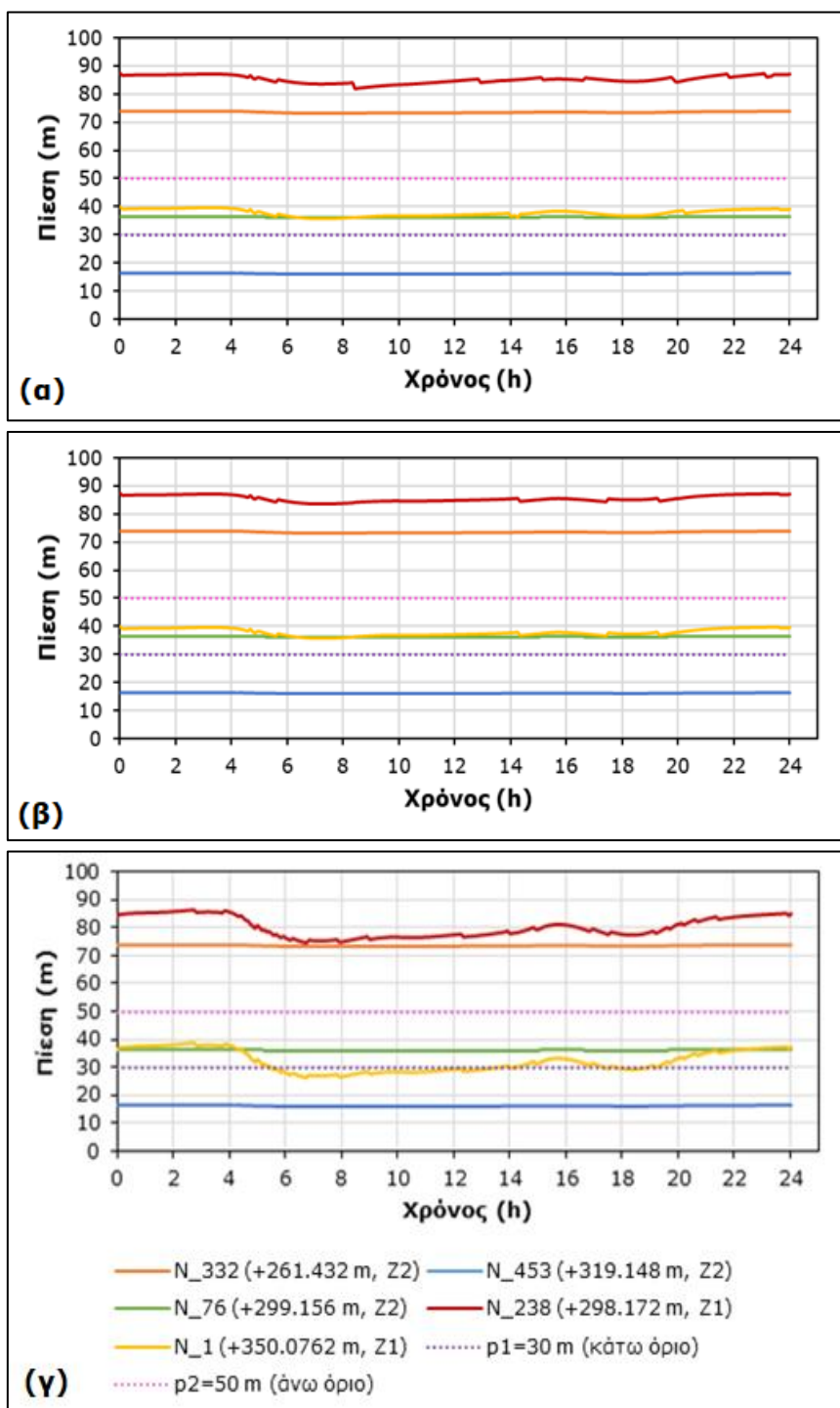
Ο μετατροπέας συχνότητας λειτουργεί μεταξύ 37.6 Hz και 39.7 Hz, όταν οι δικλίδες είναι κλειστές, και αυξάνεται όταν οι δικλίδες είναι ανοιχτές. Στο σενάριο ΣΕ1 αυξάνεται στα 41.7 Hz, στο ΣΕ2 στα 43.5 Hz, στο ΣΕ3 μεταξύ 40.2 Hz και 45.8 Hz, στο ΣΕ4 μεταξύ 41.0 Hz και 42.0 Hz, και στο ΣΕ6 μεταξύ 40.5 Hz και 45.0 Hz.

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το εύρος λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι 8.2 Hz, με ελάχιστη και μέγιστη τιμή τα 37.6 Hz και 45.8 Hz, αντίστοιχα. Στο υφιστάμενο δίκτυο, το εύρος είναι μεγαλύτερο (13 Hz), όπως και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (37 Hz και 50 Hz, αντίστοιχα).

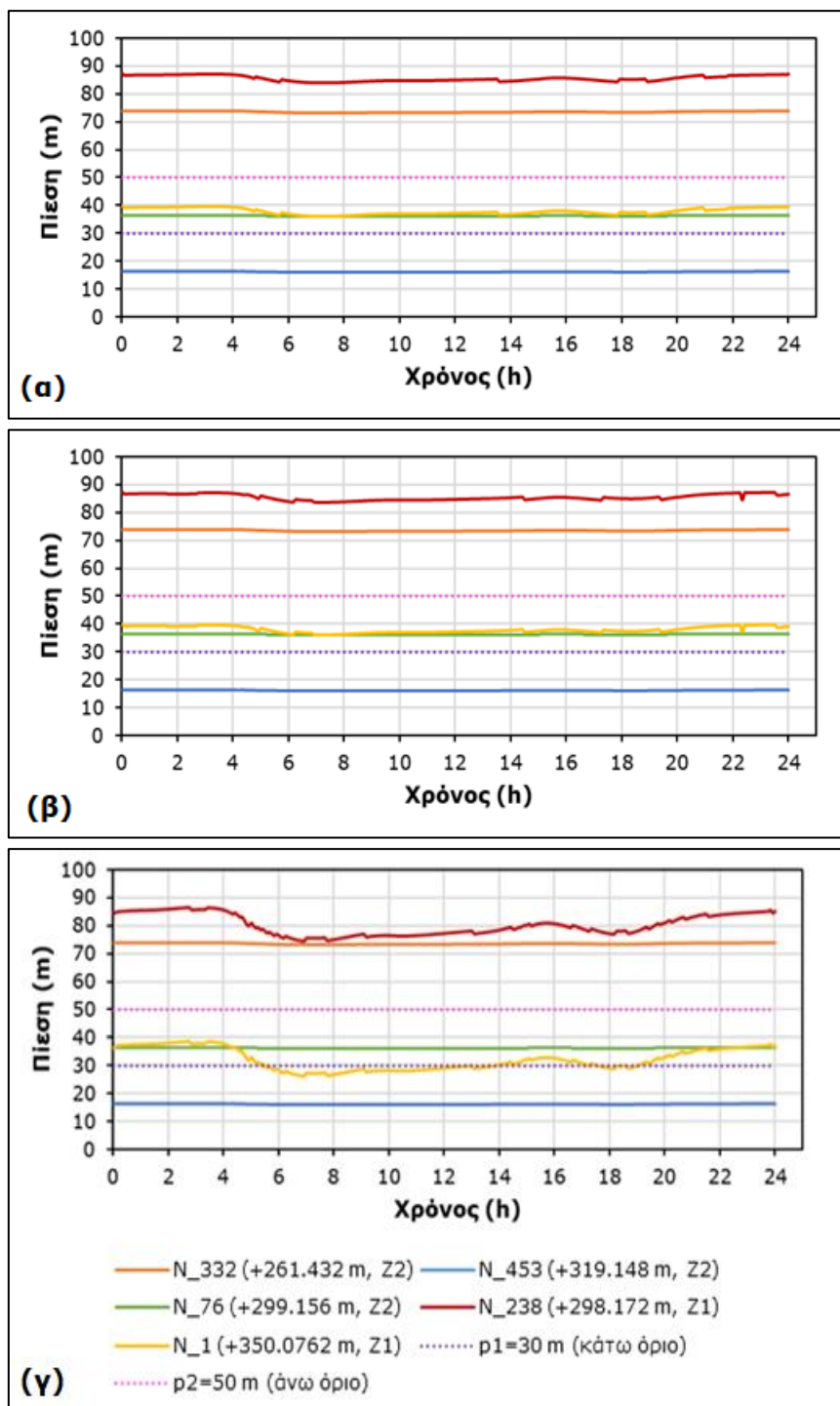


7.2.4 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης

Στις Εικόνες 7-7 και 7-8 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιέσεων των χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης του προτεινόμενου δικτύου.



Εικόνα 7-7 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) ΣΕ1, (β) ΣΕ2 και (γ) ΣΕ3.



Εικόνα 7-8 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) ΣΕ4, (β) ΣΕ5 και (γ) ΣΕ6.

Για τα σενάρια ΣΕ1 μέχρι ΣΕ6, προκύπτει ότι η πίεση στους κόμβους κατανάλωσης που τροφοδοτούνται απευθείας από τη δεξαμενή Άνοιξης (νότιο τμήμα Βαρυμπόμπης και Φλόγα) δεν μεταβάλλεται χρονικά. Λόγω των PSVs, η πίεση στα ανάντη του PRV είναι πάντοτε μεγαλύτερη της τιμής ρύθμισής του, με αποτέλεσμα το PRV να κρατά σταθερή την πίεση των κόμβων στα κατάντη του. Η χρονική μεταβολή της πίεση στους κόμβους που τροφοδοτούνται από το αντλιοστάσιο ακολουθεί τη χρονική μεταβολή της ζήτησης.



Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η πτώση πίεσης που εμφανίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο (σενάρια ΣΥ1, ΣΥ2 και ΣΥ3) κατά τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης δεν εμφανίζεται στο προτεινόμενο δίκτυο. Ταυτόχρονα, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των χαρακτηριστικών κόμβων εμφανίζει πιέσεις εκτός των επιθυμητών ορίων (30-50 m).

7.2.5 Κατανάλωση ενέργειας στο προτεινόμενο δίκτυο

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7-6 και τους υπολογισμούς, η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται από 293.6 kWh μέχρι 461.8 kWh και είναι μικρότερη από αυτή που απαιτείται από το υφιστάμενο δίκτυο.

Η κατανάλωση ενέργειας στο αντλιοστάσιο φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της ζήτησης του κόμβου JV_165 και με τις χαμηλότερες τιμές ρύθμισης των PSVs, οι οποίες καθορίζουν την πίεση αναρρόφησης στο αντλιοστάσιο. Επιπλέον, από τον Πίνακα 7-6 φαίνεται ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος φόρτισης της δεξαμενής (σενάρια ΣΕ4, ΣΕ5 και ΣΕ6) τόσο μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται στο δίκτυο.

Η μέση τιμή της απόδοσης είναι 51% στα ΣΕ1, ΣΕ2, ΣΕ4 και ΣΕ5, και αυξάνεται στο 64% στα ΣΕ3 και ΣΕ6. Στη διάρκεια της ημέρας, η απόδοση ελαχιστοποιείται τις πρώτες πρωινές ώρες, όταν η παροχή ελαχιστοποιείται. Η απόδοση του αντλιοστασίου δεν διαφοροποιείται μεταξύ του υφιστάμενου και του προτεινόμενου δικτύου.

Πίνακας 7-6 Κατανάλωση ενέργειας του προτεινόμενου δικτύου.

Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας	Ηλεκτρική Ισχύς	Μέση απόδοση	Συχνότητα λειτουργίας Inverter	Μανομετρικό ύψος
	kWh	kW	%	Hz	m
ΣΕ1	293.65	8.62 - 14.77	51.0	37.62 - 41.76	34.46 - 42.53
ΣΕ2	323.27	8.62 - 16.73	51.1	37.62 - 40.01	34.69 - 45.78
ΣΕ3	461.78	10.72 - 25.12	63.8	37.76 - 45.76	34.56 - 45.26
ΣΕ4	288.93	8.62 - 14.16	50.9	37.62 - 40.01	34.69 - 38.21
ΣΕ5	315.25	8.62 - 15.65	51.1	37.62 - 41.99	34.59 - 42.05
ΣΕ6	456.43	10.72 - 25.99	63.7	37.76 - 44.99	34.63 - 40.52

Συγκρίνοντας την κατανάλωση ενέργειας μεταξύ προτεινόμενων και υφιστάμενων δικτύων προκύπτει ότι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κυμαίνεται από 0.3% μέχρι 8.2% στα διαφορετικά σενάρια υπολογισμών, και αυξάνεται με την αύξηση της διάρκειας φόρτισης της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης, η οποία εξαρτάται από την καταντή ζήτηση νερού. Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 7-7.

Πίνακας 7-7 Κατανάλωση ενέργειας στο υφιστάμενο και το προτεινόμενο δίκτυο.

Ρύθμιση PSVs	Κατανάλωση ενέργειας		
	Υφιστάμενο δίκτυο	Προτεινόμενο δίκτυο	Μείωση
	m	kWh	kWh
21.0 (ΣΕ1)	300.6 (ΣΥ1)	293.7	2.3
17.8 (ΣΕ4)		288.9	3.9
18.5 (ΣΕ2)	343.5 (ΣΥ2)	323.3	5.9
25.3 (ΣΕ5)		315.3	8.2
21.5 (ΣΕ3)	463.3 (ΣΥ3)	461.8	0.3
23.2 (ΣΕ6)		456.4	1.5



7.3 Σχολιασμός υπολογισμών προτεινόμενου δικτύου

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, στο προτεινόμενο δίκτυο επιτυγχάνονται τα ακόλουθα:

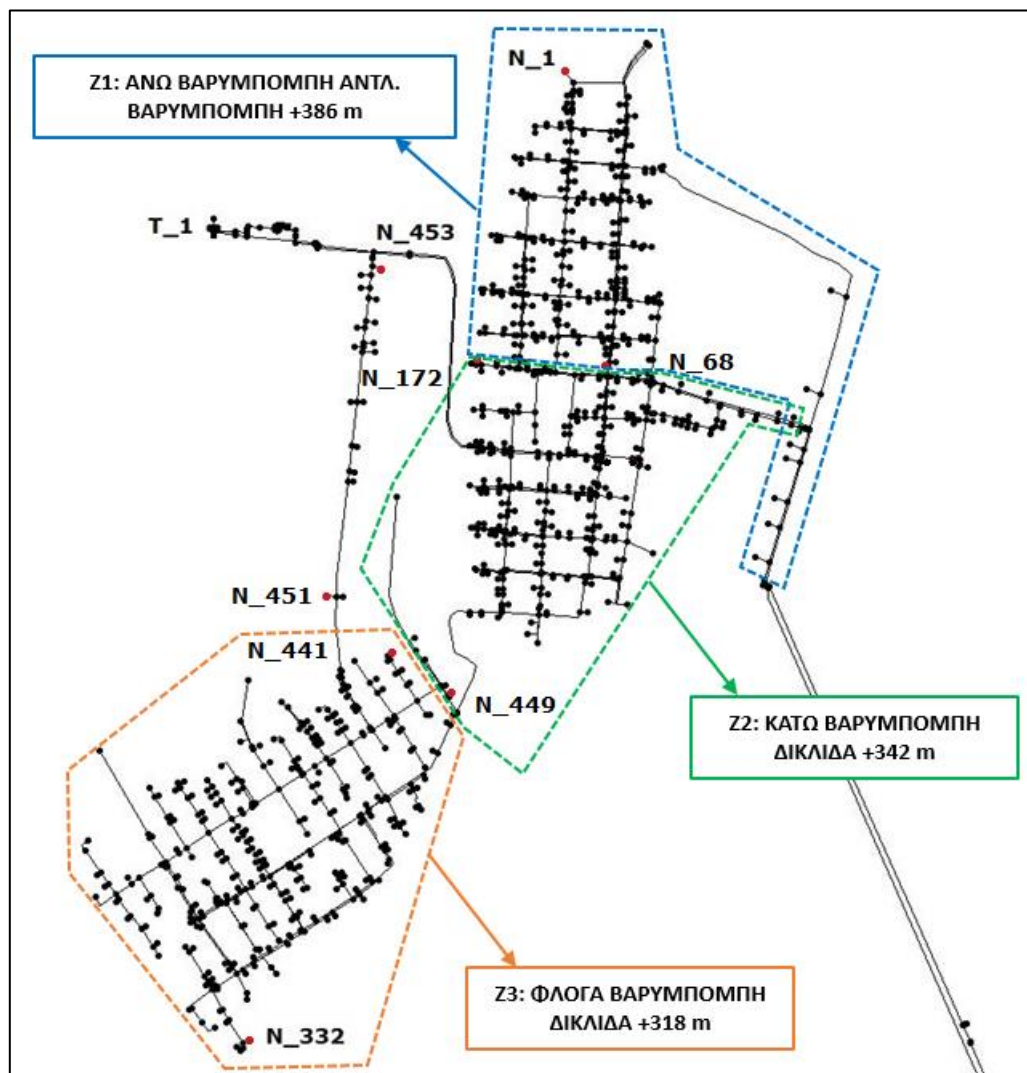
1. **Μείωση των καταναλωτών με πίεση μικρότερη του επιθυμητού ορίου.** Ο αριθμός των καταναλωτών (κόμβοι κατανάλωσης) με πίεση μικρότερη των 30 m μειώνεται από 31 μέχρι 45 σε 9 μέχρι 18, δηλ. κατά 60-72%.
2. **Μικρότερη καταπόνηση των αγωγών και του αντλιοστασίου του δικτύου.** Για τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης προκαλείται ελεγχόμενη πτώση πίεσης που κυμαίνεται από 2.9 m μέχρι 9.8 m, η οποία είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο (26.3 m - 27.7 m). Η πτώση πίεσης εμφανίζεται μόνο στην πίεση αναρρόφησης της αντλίας, ενώ στους κόμβους κατανάλωσης του δικτύου δεν γίνεται αντιληπτή.
3. **Μείωση της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.** Η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι ίση με 45.8 Hz, τιμή που είναι μικρότερη από αυτή του υφιστάμενου δικτύου (50 Hz).
4. **Εξοικονόμηση ενέργειας.** Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται από 0.3% μέχρι 8.2% σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο με τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση να παρατηρείται στα σενάρια που η διάρκεια φόρτισης της δεξαμενής είναι μεγάλη.

8 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ 2: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ

8.1 Διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις υδραυλικές ζώνες απομόνωσης

8.1.1 Ζώνες του δικτύου

Στο σενάριο επεμβάσεων 2 προτείνεται η διακριτοποίηση του υφιστάμενου δικτύου σε τρεις υδραυλικά απομονωμένες ζώνες με στόχο την αντιμετώπιση των υψηλών πιέσεων (μεγαλύτερες των 50 m) που επικρατούν στην πλειοψηφία των κόμβων κατανάλωσης και των χαμηλών πιέσεων που εμφανίζονται στο δίκτυο κατά το άνοιγμα των δικλίδων V_1 και V_3. Οι τρεις υδραυλικές ζώνες απομόνωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 8-1.



Εικόνα 8-1 Σχηματική απεικόνιση των υδραυλικά απομονωμένων ζωνών Z1, Z2 και Z3 και των χαρακτηριστικών κόμβων του δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.

Στον Πίνακα 8-1 παρουσιάζονται οι κόμβοι του δικτύου οι οποίοι αναφέρονται ως χαρακτηριστικοί καθώς εξαιτίας του υψομέτρου τους εμφανίζουν τις μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις του δικτύου. Επιλέχθηκαν δύο κόμβοι από κάθε ζώνη.



Πίνακας 8-1 Οι χαρακτηριστικοί κόμβοι του προτεινόμενου δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης.

Κόμβος	Ζώνη	Υψόμετρο (m)	Κόμβος	Ζώνη	Υψόμετρο (m)
N_1	Z1	350.076	N_68	Z1	311.177
N_172	Z2	305.760	N_449	Z2	284
N_441	Z3	282.374	N_332	Z3	261.432

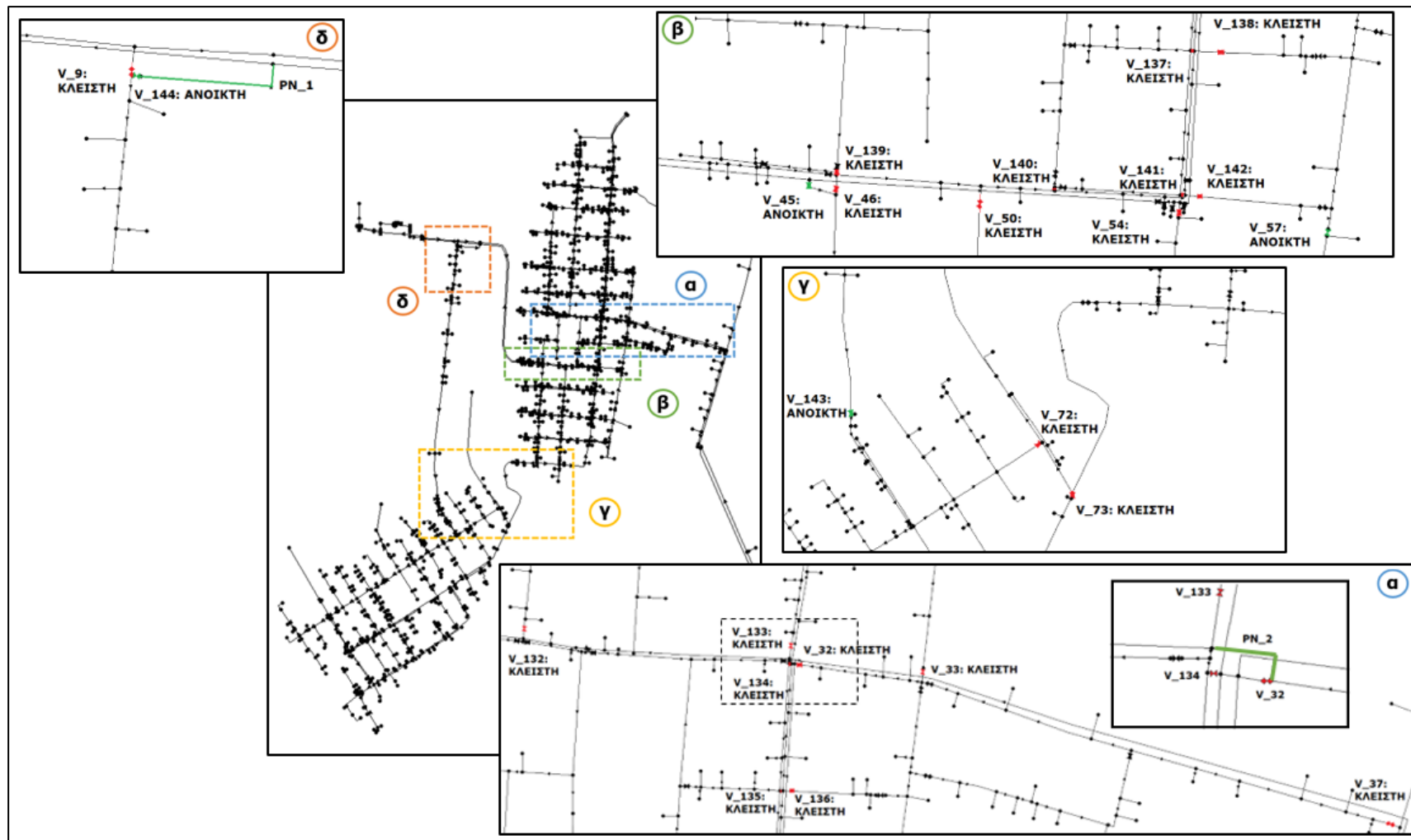
8.1.2 Επεμβάσεις προτεινόμενου δικτύου

Οι τρεις ζώνες του δικτύου απομονώνονται μεταξύ τους με την εφαρμογή μιας σειράς από επεμβάσεις, όπως η προσθήκη δικλίδων απομόνωσης (FCVs) και μείωσης πίεσης (PRVs), η αλλαγή της κατάστασης λειτουργίας σε υφιστάμενες δικλίδες και η προσθήκη νέων αγωγών. Οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δίκτυο παρουσιάζονται στον Πίνακα 8-2 και στην Εικόνα 8-2.

Πίνακας 8-2 Οι επεμβάσεις που εφαρμόστηκαν για τη διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις ζώνες.

Όνομα	Επέμβαση	Κατάσταση Λειτουργίας / Χαρακτηριστικά
V_132	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_133	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_134	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_135	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_136	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_137	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_138	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_139	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_140	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_141	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_142	Προσθήκη FCV	Κλειστή
V_143	Προσθήκη FCV	Ανοικτή, Setting=32
V_144	Προσθήκη FCV	Ανοικτή
V_32	Αλλαγή λειτουργίας FCV	Κλειστή
V_33	Αλλαγή λειτουργίας FCV	Κλειστή
V_37	Αλλαγή λειτουργίας FCV	Κλειστή

Όνομα	Επέμβαση	Κατάσταση Λειτουργίας / Χαρακτηριστικά
V_45	Αλλαγή λειτουργίας PRV	Ανοικτή, Setting = 40
V_57	Αλλαγή λειτουργίας FCV	Ανοικτή
V_72	Αλλαγή λειτουργίας FCV	Κλειστή
V_73	Αλλαγή λειτουργίας FCV	Κλειστή
PN_1	Προσθήκη αγωγού	D=400mm, L=100 m, ks=0.26 Τροφοδοσία της Z3
PN_2	Προσθήκη αγωγού	D=200mm, L=12 m, ks=0.5 Τροφοδοσία της Z2



Εικόνα 8-2 Σχηματική απεικόνιση των επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στο δίκτυο ύδρευσης της Βαρυμπόμπης για το σενάριο επεμβάσεων 2.



Τα χαρακτηριστικά των νέων ζωνών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8-3.

Πίνακας 8-3 Τα χαρακτηριστικά των ζωνών Z1, Z2 και Z3.

Χαρακτηριστικά	Ζώνες		
	Z1	Z2	Z3
Υδροληψία από	Δεξαμενή Άνοιξης	Δεξαμενή Άνοιξης	Δεξαμενή Άνοιξης
Ρυθμιστής υδρ. φορτίου	Αντλιοστάσιο	PRV, Setting=40 m	PRV, Setting=32 m
Περιοχή υδροδότησης	Άνω Βαρυμπόμπη	Κάτω Βαρυμπόμπη	Φλόγα
Εύρος υψομέτρων (m)	310.39 - 350.07	284.00 – 312.07	261.43 - 287.27
Υδρ. φορτίο ζώνης (m)	+318	+342	+386

8.2 Σενάρια υπολογισμών

Με βάση τα παραπάνω, επαναλήφθηκαν για το προτεινόμενο δίκτυο οι υπολογισμοί των σεναρίων ΣΥ1, ΣΕ1 και ΣΕ4 με διάκριση του δικτύου σε τρεις ζώνες, δηλ. για τρία σενάρια με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 8-4. Κατά τους υπολογισμούς εφαρμόστηκαν οι παραδοχές υπολογισμών που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 6.

Για τα σενάρια ΣΕ1 και ΣΕ4 οι τιμές ρύθμισης των δικλίδων PSVs προσδιορίστηκαν με δοκιμαστικούς υπολογισμούς που εξασφάλιζαν ότι η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης είναι γεμάτη στο τέλος κάθε ημέρας. Επιπλέον, τροποποιήθηκε η εναλλαγή της κατάστασης λειτουργίας των δικλίδων V_1 και V_3 (OPEN ή CLOSED), όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 8-4, με τις οποίες αποφεύγεται η υπερχειλίση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης.

Πίνακας 8-4 Χαρακτηριστικά σεναρίων υπολογισμών του προτεινόμενου δικτύου.

Σενάριο	Αντιστοιχία με υπολογισμένα σενάρια	Ζήτηση	Ζήτηση	Τιμή ρύθμισης των PSVs	Στάθμη ανοίγματος των V_1 και V_3	Στάθμη κλεισίματος των V_1 και V_3
		κόμβου A_424	κόμβου JV_165		m	m
		L/s	L/s			
Σ1	ΣΥ1	25.0	15.0	-	1.35	4.275
Σ2	ΣΕ1	25.0	15.0	21	1.35	4.275
Σ3	ΣΕ4	25.0	15.0	25.3	3.90	4.275

8.3 Υπολογισμοί προτεινόμενου δικτύου

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για τα σενάρια Σ1, Σ2 και Σ3 είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου.** Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί θεωρώντας ότι (1) οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι κλειστές, η ζήτηση είναι μικρή και οι πιέσεις λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους, και (2) οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι ανοικτές, η ζήτηση είναι μεγάλη και οι πιέσεις λαμβάνουν τις ελάχιστες τιμές τους. Οι μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις κάθε σεναρίου φαίνονται στην Εικόνα 8-3.

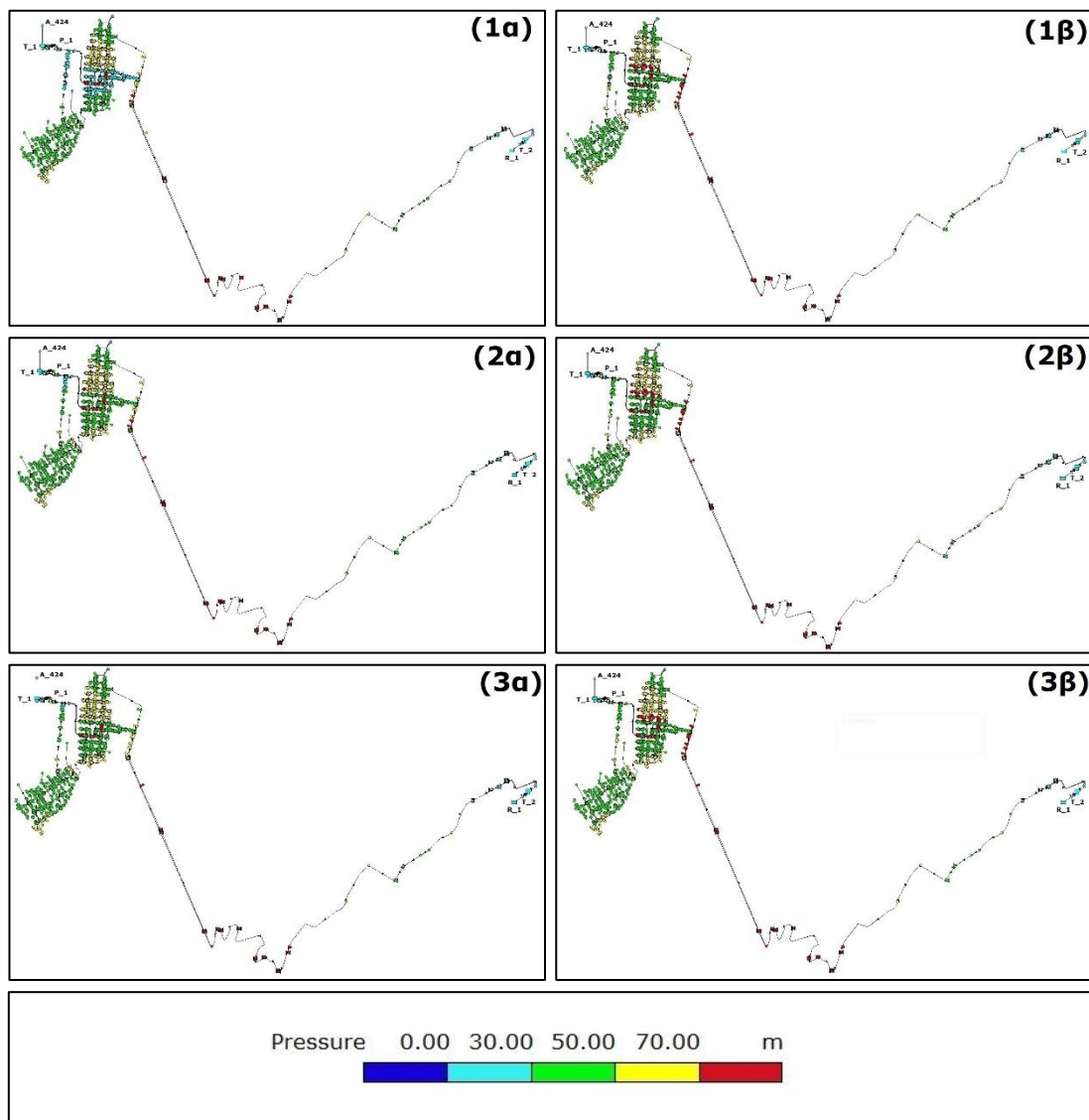
Στον Πίνακα 8-5 παρουσιάζεται ο αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για κάθε σενάριο.

- Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης (T_1)** που φαίνεται στην Εικόνα 8-5.
- Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας** που φαίνεται στην Εικόνα 8-6.

4. Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης που φαίνεται στην Εικόνα 8-7.
5. Κατανάλωση ενέργειας του δικτύου, η οποία φαίνεται στον Πίνακα 8-6.

8.3.1 Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους του δικτύου

Στην Εικόνα 8-3 παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις στους κόμβους κατανάλωσης για τα σενάρια του προτεινόμενου δικτύου.



Εικόνα 8-3 Ελάχιστες (1α, 2α, 3α) και μέγιστες (1β, 2β και 3β) πιέσεις στους κόμβους του προτεινόμενου δικτύου για τα σενάρια (1) Σ1, (2) Σ2 και (3) Σ3.

Από την Εικόνα 8-3 και τους υπολογισμούς διαπιστώνεται ότι στο σενάριο Σ1, τη χρονική στιγμή που το δίκτυο λαμβάνει μέγιστες πιέσεις, στο βόρειο τμήμα της ζώνης Z1 οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, στο κεντρικό τμήμα κυμαίνονται από 50 μέχρι 70 m και στο νότιο τμήμα της οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες των 70 m.

Στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της ζώνης Z2 οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m και στο νότιο τμήμα της από 50 m μέχρι 70 m.



Στη ζώνη Z3 οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, ενώ στα νότια της ζώνης εμφανίζεται μικρός αριθμός κόμβων με πιέσεις από 50 μέχρι 70 m.

Σε περιοχή βορειοδυτικά του δικτύου, εκτός των υδραυλικών ζωνών απομόνωσης, που βρίσκεται ανάντη της δικλίδας V_143, οι πιέσεις στους κόμβους κατανάλωσης κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, ενώ στα νότια της ζώνης εμφανίζεται μικρός αριθμός κόμβων με πιέσεις από 50 m μέχρι 70 m.

Τη χρονική στιγμή που το δίκτυο λαμβάνει ελάχιστες πιέσεις, στο βόρειο τμήμα της ζώνης Z1 οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m και στο κεντρικό και νότιο τμήμα της κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m.

Στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της ζώνης Z2 οι πιέσεις είναι μικρότερες των 30 m και στο νότιο τμήμα της οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m.

Στη ζώνη Z3 οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m, ενώ στα νότια της ζώνης εμφανίζεται μικρός αριθμός κόμβων με πιέσεις από 50 m μέχρι 70 m.

Σε περιοχή βορειοδυτικά του δικτύου εκτός των υδραυλικών ζωνών απομόνωσης, που βρίσκεται ανάντη της δικλίδας V_143, οι πιέσεις στους κόμβους κατανάλωσης είναι μικρότερες των 30 m, ενώ στα νότια της ζώνης εμφανίζεται μικρός αριθμός κόμβων με πιέσεις από 30 m μέχρι 50 m.

Από την Εικόνα 8-3 και τους υπολογισμούς διαπιστώνεται ότι στα σενάρια Σ2 και Σ3 με την προσθήκη των PSVs δεν εμφανίζεται μεγάλη πτώση πίεσης, με αποτέλεσμα οι πιέσεις στη ζώνη Z2 να είναι αυξημένες σε σύγκριση με το Σ1 όταν οι πραγματοποιείται η φόρτιση της δεξαμενής. Έτσι, τη χρονική στιγμή που το δίκτυο λαμβάνει ελάχιστες πιέσεις, στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της ζώνης Z2 οι πιέσεις κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m και στο νότιο τμήμα της οι πιέσεις κυμαίνονται από 50 m μέχρι 70 m. Ταυτόχρονα, στην περιοχή βορειοδυτικά του δικτύου εκτός των υδραυλικών ζωνών απομόνωσης, που βρίσκεται ανάντη της δικλίδας V_143, στο σενάριο Σ3 επιτυγχάνεται αύξηση στις πιέσεις των κόμβων κατανάλωσης. Έτσι, τη χρονική στιγμή που το δίκτυο λαμβάνει ελάχιστες πιέσεις, οι πιέσεις της περιοχής κυμαίνονται από 30 m μέχρι 50 m.

Στον Πίνακα 8-5 παρουσιάζεται για κάθε σενάριο ο αριθμός των κόμβων κατανάλωσης του δικτύου που ανήκει σε κάθε εύρος πίεσης. Ο συνολικός αριθμός των κόμβων κατανάλωσης του δικτύου είναι 299.

Πίνακας 8-5 Αριθμός των κόμβων κατανάλωσης σε κάθε εύρος πίεσης για τα σενάρια ΣΥ1, Σ1, Σ2 και Σ3.

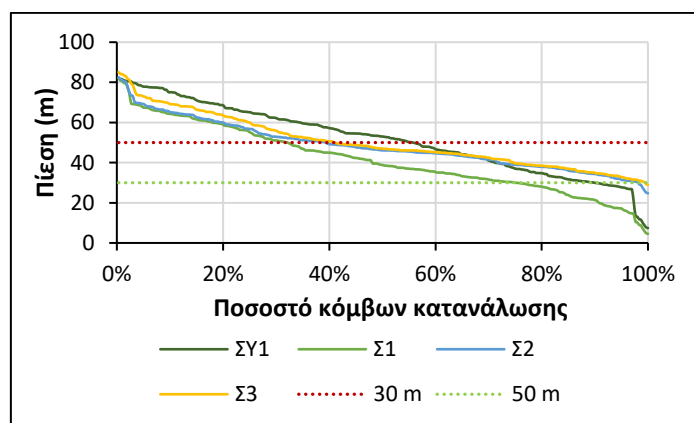
Σενάριο	Κατάσταση πίεσης δικτύου	Αριθμός κόμβων δικτύου με πίεση				
		< 20 m	20 - 30 m	30 - 50 m	50 - 70 m	> 70 m
ΣΥ1	min (14:15)	8	23	102	116	50
	max (03:15)	4	5	90	129	71
Σ1	min (14:15)	28	47	128	89	7
	max (03:15)	0	0	175	97	27
Σ2	min (14:15)	0	6	176	106	9
	max (03:15)	0	0	175	97	27
Σ3	min (03:25)	0	2	175	95	27
	max (03:15)	0	0	175	97	27



Στον Πίνακα 8-5, συγκρίνοντας τις πιέσεις στο υφιστάμενο (ΣΥ1) και στο προτεινόμενο (Σ1) δίκτυο παρατηρείται 226% αύξηση των κόμβων με πίεση μικρότερη των 30 m (75 από 31) και 62% μέχρι 86% μείωση των κόμβων με πίεση μεγαλύτερη των 70 m. Ο αριθμός των κόμβων που βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων πίεσης (30 m μέχρι 50 m) αυξάνεται από 25% μέχρι 94%. Έτσι, φαίνεται ότι η διακριτοποίηση σε τρεις ζώνες βοήθησε στη μείωση των υψηλών πιέσεων του δικτύου και στην αύξηση των κόμβων του δικτύου που εμφανίζουν πιέσεις εντός των επιθυμητών ορίων πίεσης, όμως ταυτόχρονα προκάλεσε αύξηση των κόμβων με χαμηλές πιέσεις.

Για την αντιμετώπιση των χαμηλών πιέσεων (< 30 m) εξετάστηκε η εγκατάσταση των PSVs (σενάρια Σ2 και Σ3). Στο σενάριο Σ1, από τους 299 κόμβους (καταναλωτές νερού), οι 75 έχουν πίεση μικρότερη από 30 m, εκ των οποίων οι 47 έχουν πίεση από 20 μέχρι 30 m, για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης. Με την προσθήκη των PSVs, στο σενάριο Σ2 ο αριθμός των κόμβων αυτών είναι μειωμένος κατά 92%, ενώ στο σενάριο Σ3 ο αριθμός αυτός είναι μειωμένος κατά 97.3%. Όταν δεν γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης δεν εμφανίζονται κόμβοι στο δίκτυο με πίεση μικρότερη από 30 m.

Σύμφωνα με την Εικόνα 8-4, το ποσοστό των κόμβων του δικτύου που παρουσιάζουν πιέσεις εντός των επιθυμητών ορίων (30-50 m) στα σενάρια ΣΥ1, Σ1, Σ2 και Σ3 είναι, 30.1-34.1%, 42.8-58.5%, 58.5-58.8% και 58.5%, αντίστοιχα. Το ποσοστό των κόμβων του δικτύου που παρουσιάζουν πιέσεις >50 m στα σενάρια ΣΥ1, Σ1, Σ2 και Σ3 είναι, 55.5-66.8%, 32.1-41.4%, 38.4-41.4% και 40.8-41.4%, αντίστοιχα. Τέλος, το ποσοστό των κόμβων με πιέσεις < 30m στα σενάρια ΣΥ1, Σ1, Σ2 και Σ3 είναι, 3-10.3%, 0-25%, 0-2% και 0-0.06%, αντίστοιχα.

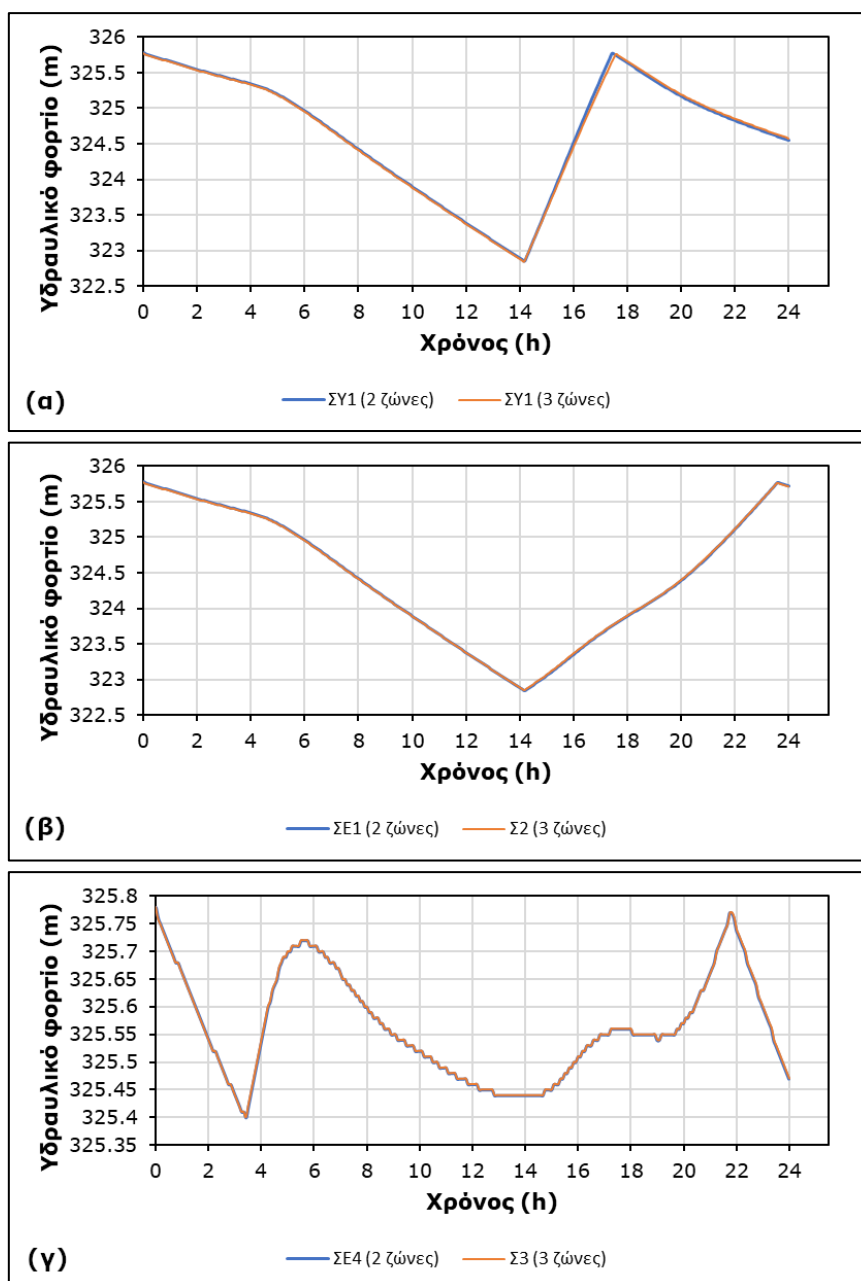


Εικόνα 8-4 Ποσοστό κόμβων κατανάλωσης ανά πίεση. Σύγκριση υφιστάμενου δικτύου με το δίκτυο του σεναρίου επεμβάσεων 2.

8.3.2 Χρονική μεταβολή υδραυλικού φορτίου δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης

Στην Εικόνα 8-5 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης για τα σενάρια του προτεινόμενου δικτύου.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 8-5, η διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις ζώνες δεν επηρεάζει τη φόρτιση της δεξαμενής και το υδραυλικό της φορτίο. Ως εκ τούτου, το υδραυλικό φορτίο της δεξαμενής στα σενάρια Σ1, Σ2 και Σ3 είναι ίδιο με αυτό των σεναρίων ΣΥ1, ΣΕ1 και ΣΕ4, αντίστοιχα.



Εικόνα 8-5 Χρονική μεταβολή του υδραυλικού φορτίου της δεξαμενής T_1 για τα σενάρια (α) Σ1, (β) Σ2, και (γ) Σ3.

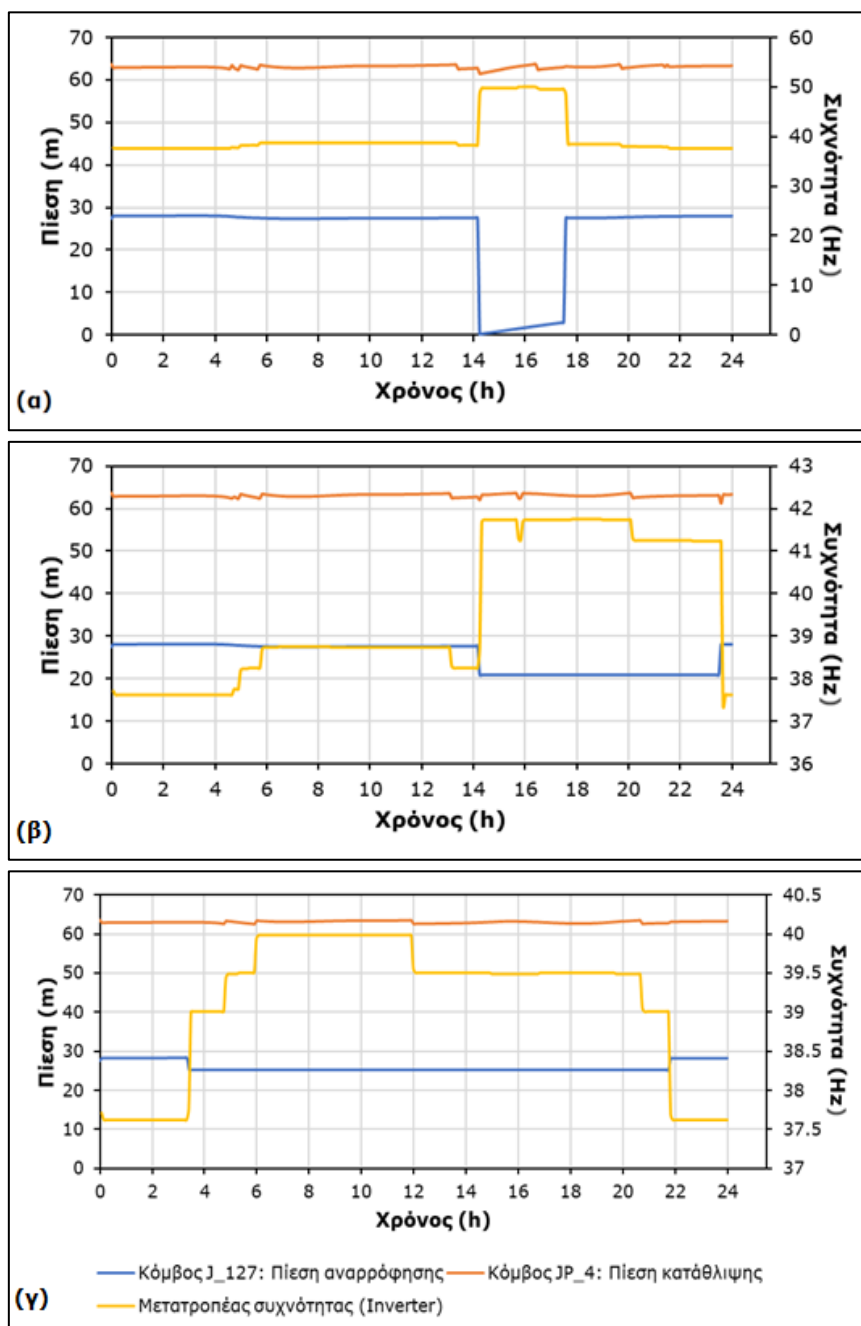
8.3.3 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας

Στην Εικόνα 8-6 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.

Από την Εικόνα 8-6 και τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η πίεση αναρρόφησης κυμαίνεται από 27.48 m μέχρι 28.18 m στο σενάριο Σ1 και από 27.52 m μέχρι 28.19 m στα σενάρια Σ2 και Σ3, όταν οι δικλίδες V_1 και V_3 είναι κλειστές. Όταν οι δικλίδες είναι ανοιχτές, η πίεση αναρρόφησης μειώνεται μέχρι την τιμή 0.22 m στο σενάριο Σ1, ενώ στα σενάρια Σ2 και Σ3 μειώνεται μέχρι την τιμή ρύθμισης των PSVs, δηλ. 21.0 m και 25.3 m, αντίστοιχα.

Ο μετατροπέας συχνότητας λειτουργεί μεταξύ 37.6 Hz και 38.7 Hz στα σενάρια Σ1 και Σ2 και μεταξύ 37.6 Hz και 37.7 Hz στο σενάριο Σ3, όταν οι δικλίδες είναι κλειστές. Όταν οι δικλίδες είναι ανοιχτές, ο μετατροπέας συχνότητας αυξάνεται. Στο σενάριο Σ1 αυξάνεται μεταξύ 38.3 Hz και 49.9 Hz, στο σενάριο Σ2 μεταξύ 41.2 και 41.7 Hz και στο σενάριο Σ3 μεταξύ 39 Hz και 39.9 Hz.

Το εύρος λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι στα 12.3 Hz στο σενάριο Σ1 και με την προσθήκη των PSVs το εύρος λειτουργίας είναι στα 4.1 Hz στο σενάριο Σ2 και στα 2.3 Hz στο σενάριο Σ3. Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται, ότι με την προσθήκη των PSVs το εύρος λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας μειώνεται.

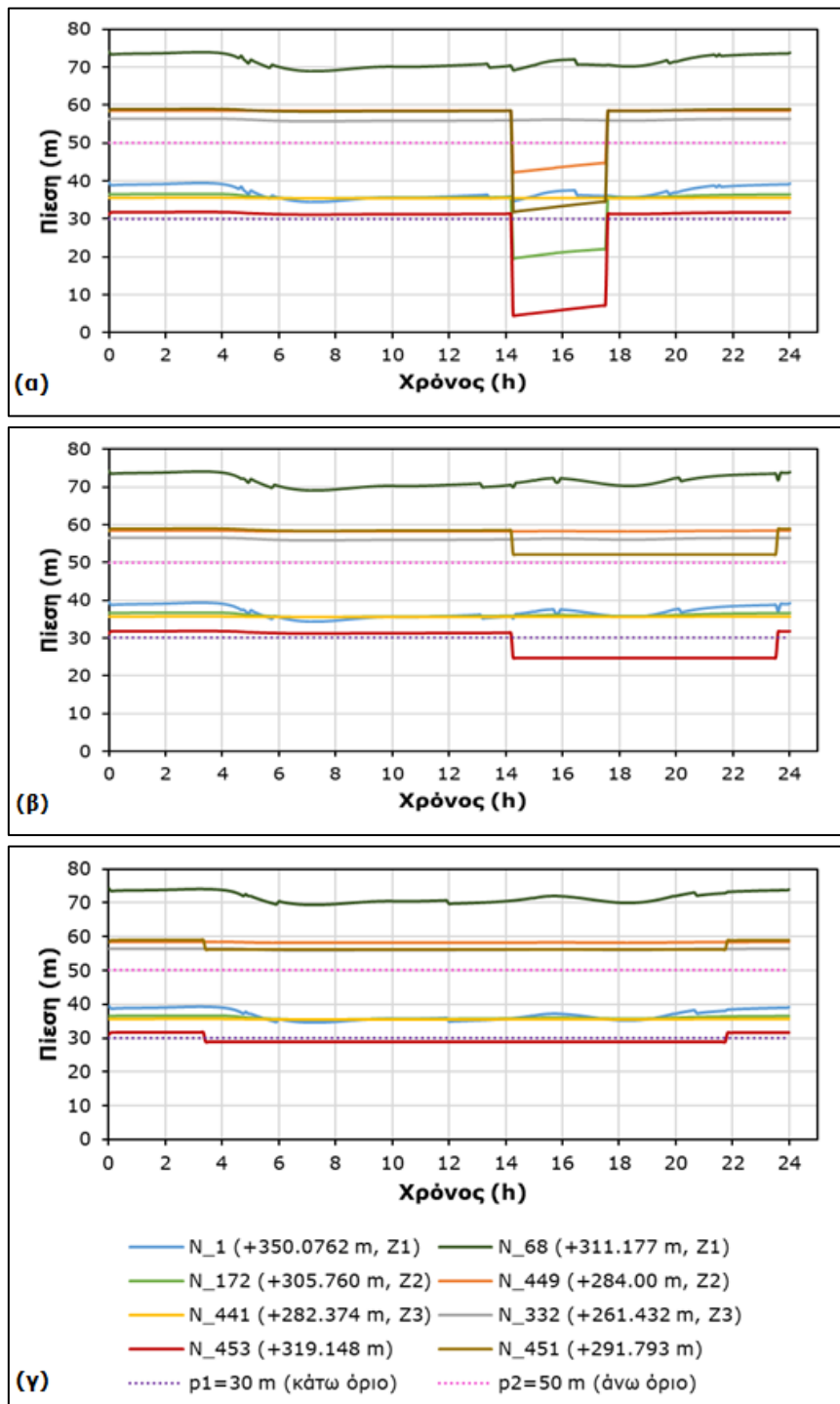


Εικόνα 8-6 Χρονική μεταβολή των πιέσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας και συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας για τα σενάρια (α) Σ1, (β) Σ2, και (γ) Σ3.



8.3.4 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης

Στην Εικόνα 8-7 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιέσεων των χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης του προτεινόμενου δικτύου.



Εικόνα 8-7 Χρονική μεταβολή των πιέσεων χαρακτηριστικών κόμβων κατανάλωσης για τα σενάρια (α) Σ1, (β) Σ2, και (γ) Σ3.

Για το σενάριο Σ1 προκύπτει ότι η πίεση στους κόμβους κατανάλωσης που τροφοδοτούνται απευθείας από τη δεξαμενή Άνοιξης (ζώνες Z2 και Z3 και περιοχή βορειοδυτικά του δικτύου εκτός των ζωνών) παρουσιάζουν πτώση πίεσης 27.5 m με 28.2 m, όταν οι δικλίδες V_1 και V_3 ανοίγουν. Στους κόμβους



κατανάλωσης της ζώνης Z1, που τροφοδοτούνται μέσω του αντλιοστασίου, η πίεση μεταβάλλεται χρονικά βάσει της ημερήσιας μεταβολής της ζήτησης.

Για τα σενάρια Σ2 και Σ3 προκύπτει ότι η πίεση στους κόμβους κατανάλωσης που τροφοδοτούνται απευθείας από τη δεξαμενή Άνοιξης δεν μεταβάλλεται χρονικά. Λόγω των PSVs, η πίεση στα ανάντη των PRVs είναι πάντοτε μεγαλύτερη της τιμής ρύθμισής τους, με αποτέλεσμα τα PRVs να κρατούν σταθερή την πίεση των κόμβων στα κατάντη τους. Η χρονική μεταβολή της πίεσης στους κόμβους που τροφοδοτούνται από το αντλιοστάσιο ακολουθεί τη χρονική μεταβολή της ζήτησης. Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η πτώση πίεσης που εμφανίζεται στο σενάριο Σ1 κατά τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης δεν εμφανίζεται στο δίκτυο με την προσθήκη των PSVs.

Οι κόμβοι N_453 και N_451 βρίσκονται σε περιοχή βορειοδυτικά του δικτύου εκτός των τριων ζωνών, τροφοδοτούνται από τη δεξαμενή Άνοιξης και επιλέχθηκαν ενδεικτικά για καλύτερη κατανόηση του δικτύου. Παρατηρώντας την Εικόνα 8-6 φαίνεται ότι όταν οι δικλίδες V_1 και V_3 ανοίγουν, οι κόμβοι N_453 και N_451 εμφανίζουν πτώση πίεσης σε όλα τα σενάρια. Στο σενάριο Σ1, η πτώση πίεσης είναι μεγάλη με αποτέλεσμα ο κόμβος N_453 να εμφανίζει πιέσεις μικρότερες των 10 m. Στα σενάρια Σ2 και Σ3, με την προσθήκη των PSVs εμφανίζεται μικρότερη πτώση πίεσης καθιστώντας τις πιέσεις των κόμβων, με μικρές αποκλίσεις, εντός των επιθυμητών ορίων. Έτσι, φαίνεται ότι η προσθήκη των PSVs βελτιώνει τον έλεγχο των πιέσεων και σε περιοχές εκτός των ζωνών που εξετάζονται.

8.3.5 Κατανάλωση ενέργειας στο προτεινόμενο δίκτυο

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8-6 και τους υπολογισμούς, η κατανάλωση ενέργειας στο αντλιοστάσιο μειώνεται με τη διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις ζώνες, καθώς στο προτεινόμενο δίκτυο το αντλιοστάσιο εξυπηρετεί μικρότερο αριθμό κόμβων κατανάλωσης (καταναλωτές ζώνης Z1).

Με την προσθήκη των PSVs επιτυγχάνεται επιπρόσθετη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας. Στο προτεινόμενο δίκτυο η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται από 283.6 kWh μέχρι 296.7 kWh και είναι μικρότερη από αυτή που απαιτείται από το υφιστάμενο δίκτυο.

Πίνακας 8-6 Κατανάλωση ενέργειας του προτεινόμενου δικτύου.

Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας	Ηλεκτρική Ισχύς	Μέση απόδοση	Συχνότητα λειτουργίας Inverter	Μανομετρικό ύψος
	kWh	kW	%	Hz	m
Σ1	296.72	2.7 – 11.46	52.1	37.62 - 49.98	34.50 – 61.58
Σ2	288.94	2.69 – 8.29	52.1	37.36 - 41.76	33.26 – 42.57
Σ3	283.86	2.69 – 8.34	52	37.62 - 39.99	34.70 – 38.20

Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ του υφιστάμενου και του προτεινόμενου δικτύου παρουσιάζεται στον Πίνακα 8-7. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κυμαίνεται από 1% μέχρι 6% στα διαφορετικά σενάρια υπολογισμών.

Πίνακας 8-7 Κατανάλωση ενέργειας στο υφιστάμενο και το προτεινόμενο δίκτυο.

Κατανάλωση ενέργειας		
Υφιστάμενο δίκτυο	Προτεινόμενο δίκτυο	Μείωση
kWh	kWh	%
	296.7 (Σ1)	1
300.6 (ΣΥ1)	288.9 (Σ2)	4
	283.9 (Σ3)	6



Η απόδοση του αντλιοστασίου δεν διαφοροποιείται μεταξύ του υφιστάμενου και του προτεινόμενου δικτύου. Η μέση τιμή της απόδοσης είναι 52% στα Σ1 και Σ2 και 52.1 στο Σ3. Στη διάρκεια της ημέρας, η απόδοση ελαχιστοποιείται τις πρώτες πρωινές ώρες, όταν η παροχή ελαχιστοποιείται.

8.4 Σχολιασμός υπολογισμών προτεινόμενου δικτύου

Με βάση τα παραπάνω, στο προτεινόμενο δίκτυο επιτυγχάνονται τα ακόλουθα:

1. **Μείωση των καταναλωτών με πίεση μικρότερη του επιθυμητού ορίου.** Ο αριθμός των καταναλωτών (κόμβοι κατανάλωσης) με πίεση μικρότερη των 30 m μειώνεται, με τη διακριτοποίηση του δικτύου και την προσθήκη των PSVs, από 31 (ΣΥ1) σε 2 (Σ3), δηλ. κατά 93.5%.
2. **Μείωση των καταναλωτών με πίεση μεγαλύτερη των 70 m.** Ο αριθμός των καταναλωτών (κόμβοι κατανάλωσης) με πίεση μεγαλύτερη των 70 m μειώνεται από 71 (ΣΥ1) σε 27 (Σ1) με τη διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις ζώνες, δηλ. κατά 62%. Με την προσθήκη των PSVs, ο αριθμός αυτός παραμένει σταθερός.
3. **Μικρότερη καταπόνηση των αγωγών και του αντλιοστασίου του δικτύου.** Στο σενάριο Σ1, κατά τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης, προκαλείται πτώση της πίεσης στους κόμβους κατανάλωσης, ίδια με αυτή που υπολογίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο (27.5 m). Από την πτώση πίεσης επηρεάζονται μόνο οι κόμβοι κατανάλωσης της ζώνης Ζ2. Συνεπώς, στο προτεινόμενο δίκτυο προκαλείται πτώση πίεσης σε μικρότερο τμήμα του δικτύου σε σύγκριση με το υφιστάμενο δίκτυο.

Στα σενάρια Σ2 και Σ3 προκαλείται ελεγχόμενη πτώση πίεσης που κυμαίνεται από 2.9 m μέχρι 6.7 m, η οποία είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο (27.5 m).
4. **Μείωση της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.** Με την διακριτοποίηση του υφιστάμενου δικτύου σε τρεις ζώνες (σενάριο Σ1) δεν επιτυγχάνεται μείωση της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας. Στα σενάρια Σ2 και Σ3 η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι ίση με 41.7 Hz και 39.9 Hz, τιμές που είναι μικρότερες από αυτή του υφιστάμενου δικτύου (50 Hz).
5. **Εξοικονόμηση ενέργειας.** Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται από 1% μέχρι 6% σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο με τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση να παρατηρείται στο σενάριο Σ3 που η διάρκεια φόρτισης της δεξαμενής είναι μεγάλη.



9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση της λειτουργίας του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης της Βαρυμπόμπης Αττικής και εξετάστηκε η βελτίωση της υδραυλικής και ενεργειακής συμπεριφοράς του με κατάλληλους συνδυασμούς επεμβάσεων στο υφιστάμενο δίκτυο. Για τη διερεύνηση εφαρμόστηκε το μαθηματικό μοντέλο EPANET.

9.1.1 Υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης

Στο υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης Βαρυμπόμπης μπορεί να διερευνηθούν πολλοί συνδυασμοί επεμβάσεων για τη βελτίωση της λειτουργίας του. Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται ενδεικτικά η αντιμετώπιση του προβλήματος των πολύ χαμηλών και των πολύ υψηλών πιέσεων σε σημαντικό αριθμό κόμβων κατανάλωσης, δηλ. πρακτικά καταναλωτών, του δικτύου που προσδιορίστηκαν κατά τους υπολογισμούς του υφιστάμενου δικτύου. Αναλυτικότερα, από τους υπολογισμούς του υφιστάμενου δικτύου διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

1. **Πτώση πίεσης στους κόμβους του δικτύου και στο αντλιοστάσιο.** Όταν τροφοδοτείται με νερό η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης προκαλείται μεγάλη πτώση της πίεσης (26.3 m - 27.7 m), κυρίως στο δίκτυο της Φλόγας και ανάντη του αντλιοστασίου. Η πίεση αναρρόφησης του αντλιοστασίου μειώνεται στα 3.0 m.
2. **Λειτουργία δικτύου εκτός των επιθυμητών ορίων πίεσης.** Για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης, από τους 299 κόμβους (καταναλωτές νερού) το 10% με 15% των κόμβων έχουν πίεση μικρότερη από 30 m και το 40% με 56% έχουν πίεση μεγαλύτερη από 50 m. Όταν δεν γεμίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης το 3% των κόμβων έχει πίεση μικρότερη από 30 m και το 67% έχει πίεση μεγαλύτερη από 50 m. Στο υφιστάμενο δίκτυο 30% με 45% των κόμβων έχει πίεση εντός των επιθυμητών ορίων.
3. **Λειτουργία αντλιοστασίου εκτός ονομαστικού σημείου.** Η λειτουργία του αντλιοστασίου ρυθμίζεται από τον μετατροπέα συχνότητας με σκοπό τη διατήρηση της πίεσης κατάθλιψης στα 63.0 m (τιμή ρύθμισης). Για την αντιστάθμιση της πτώσης πίεσης που προκαλείται όταν φορτίζει η δεξαμενή Νέας Βαρυμπόμπης, η συχνότητα αυξάνεται στο μέγιστο (50 Hz), ωστόσο η ισχύς του αντλιοστασίου δεν επαρκεί και η πίεση κατάθλιψης είναι μικρότερη του σημείου ρύθμισης.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι εξαιτίας της πτώσης πίεσης στο υφιστάμενο δίκτυο προκαλείται:

- Καταπόνηση του αντλιοστασίου και των αγωγών, με αποτέλεσμα να ενδέχεται να εμφανιστεί μείωση της απόδοσής του και σπηλαιώση.
- Υποβάθμιση της ποιότητας εξυπηρέτησης των καταναλωτών.
- Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στο αντλιοστάσιο. Το αντλιοστάσιο λειτουργεί στη μέγιστη του ισχύ χωρίς να εξασφαλίζει την απαιτούμενη πίεση κατάθλιψης.

9.1.1 Σενάριο επεμβάσεων 1

Το σενάριο επεμβάσεων 1 (Κεφάλαιο 7) περιλαμβάνει την πρακτικά ελάχιστη επέμβαση στο υφιστάμενο δίκτυο με την εγκατάσταση δικλίδων διατήρησης πίεσης (PSVs) ανάντη των δικλίδων της δεξαμενής. Η επέμβαση αυτή εφαρμόζεται σε τρία διαφορετικά σενάρια καταναλώσεων.



Εφαρμόζοντας το σενάριο επεμβάσεων 1 στο προτεινόμενο δίκτυο προκύπτει:

1. **Μείωση της πτώσης πίεσης στους κόμβους του δικτύου και στο αντλιοστάσιο.** Κατά τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης προκαλείται ελεγχόμενη πτώση πίεσης που κυμαίνεται από 2.9 m μέχρι 9.8 m, η οποία είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο (26.3 m - 27.7 m).
2. **Μείωση των καταναλωτών με πίεση μικρότερη του επιθυμητού ορίου.** Ο αριθμός των καταναλωτών (κόμβοι κατανάλωσης) με πίεση μικρότερη των 30 m μειώνεται κατά 60% με 72%.
3. **Μείωση της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.** Η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι ίση με 45.8 Hz, τιμή που είναι μικρότερη από τη μέγιστη τιμή λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας και από αυτή του υφιστάμενου δικτύου (50 Hz).
4. **Εξοικονόμηση ενέργειας.** Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται από 0.3% μέχρι 8.2% σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο με τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση να παρατηρείται στα σενάρια με τη μεγαλύτερη ζήτηση νερού.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι με την εγκατάσταση των PSVs και τις προτεινόμενες ρυθμίσεις τους επιτυγχάνεται:

- Μικρότερη καταπόνηση των αγωγών και του αντλιοστασίου του δικτύου που οδηγεί στη μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.
- Βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης των καταναλωτών.
- Δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγαλύτερων παροχών, χωρίς την αύξηση της ισχύος του υφιστάμενου αντλιοστασίου, κάνοντας πιο αξιόπιστη τη λειτουργία του δικτύου ύδρευσης και αποφεύγοντας δαπάνες για νέο εξοπλισμό.
- Μείωση του κόστους λειτουργίας και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του συστήματος ύδρευσης μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας.

9.1.2 Σενάριο επεμβάσεων 2

Το σενάριο επεμβάσεων 2 (Κεφάλαιο 8) περιλαμβάνει αρχικά τη διακριτοποίηση του υφιστάμενου δικτύου σε τρεις υδραυλικά απομονωμένες ζώνες και στη συνέχεια, την εγκατάσταση των PSVs που εφαρμόζονται στο σενάριο επεμβάσεων 1.

Στο σενάριο επεμβάσεων 2 (Κεφάλαιο 8) κατά τη διακριτοποίηση του υφιστάμενου δικτύου σε τρεις υδραυλικά απομονωμένες ζώνες προκύπτει:

1. **Πτώση πίεσης στους κόμβους του δικτύου και στο αντλιοστάσιο.** Όταν τροφοδοτείται με νερό η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης προκαλείται μεγάλη πτώση της πίεσης (27.5 m – 28.2 m), κυρίως στις ζώνες Z2 και Z3 και ανάντη του αντλιοστασίου. Η πτώση πίεσης είναι όμοια με αυτή του υφιστάμενου δικτύου. Η πίεση αναρρόφησης του αντλιοστασίου μειώνεται στα 0.22 m.
2. **Αύξηση των καταναλωτών με πίεση μικρότερη των 30 m.** Στο προτεινόμενο δίκτυο, ο αριθμός των καταναλωτών (κόμβοι κατανάλωσης) με πίεση μικρότερη των 30 m αυξάνεται κατά 142%.



3. **Μείωση των καταναλωτών με πίεση μεγαλύτερη από 50 m.** Στο προτεινόμενο δίκτυο ο αριθμός των καταναλωτών με πίεση μεγαλύτερη των 50 m μειώνεται κατά 38% με 42%. Το 42.8% των κόμβων του δικτύου έχει πίεση εντός των επιθυμητών ορίων.
4. **Λειτουργία αντλιοστασίου εκτός ονομαστικού σημείου.** Για την αντιστάθμιση της πτώσης πίεσης που προκαλείται όταν φορτίζει η δεξαμενή Νέα Βαρυμπόμπης, η συχνότητα αυξάνεται στο μέγιστο (50 Hz), ωστόσο η ισχύς του αντλιοστασίου δεν επαρκεί και η πίεση κατάθλιψης είναι μικρότερη του σημείου ρύθμισης.
5. **Εξοικονόμηση ενέργειας.** Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται κατά 1% σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο καθώς το αντλιοστάσιο εξυπηρετεί μικρότερο αριθμό κόμβων.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι με τη διάκριση του υφιστάμενου δικτύου σε τρεις ζώνες, πραγματοποιείται πτώση πίεσης, αντίστοιχη με αυτή του υφιστάμενου δικτύου, η οποία είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστεί. Ως εκ τούτου εφαρμόζεται και η προσθήκη των PSVs που εγκαταστάθηκαν κατά το σενάριο επεμβάσεων 1.

Με την προσθήκη των PSVs στο σενάριο επεμβάσεων 2 (Κεφάλαιο 8) προκύπτει:

1. **Μείωση της πτώσης πίεσης στους κόμβους του δικτύου και στο αντλιοστάσιο.** Κατά τη φόρτιση της δεξαμενής Νέα Βαρυμπόμπης προκαλείται ελεγχόμενη πτώση πίεσης που κυμαίνεται από 2.9 m μέχρι 6.7 m, η οποία είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίστηκε στο υφιστάμενο δίκτυο (27.5 m).
2. **Μείωση των καταναλωτών με πίεση εκτός του επιθυμητού ορίου.** Στο προτεινόμενο δίκτυο, κατά τη φόρτιση της δεξαμενής ο αριθμός των καταναλωτών (κόμβοι κατανάλωσης) με πίεση μικρότερη των 30 m μειώνεται κατά 81% με 94% και ο αριθμός των καταναλωτών με πίεση μεγαλύτερη των 50 m μειώνεται κατά 43% με 47%. Επίσης, το 59% των κόμβων του δικτύου έχει πίεση εντός των επιθυμητών ορίων.
3. **Μείωση της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας.** Με την προσθήκη των PSVs η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι ίση με 41.7 Hz, τιμή που είναι μικρότερη από αυτή του υφιστάμενου δικτύου (50 Hz).
4. **Εξοικονόμηση ενέργειας.** Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται από 4% μέχρι 6% σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο.

Με την διακριτοποίηση του δικτύου σε τρεις ζώνες, την εγκατάσταση των PSVs και τις προτεινόμενες ρυθμίσεις τους επιτυγχάνεται:

- Καλύτερος έλεγχος των πιέσεων του δικτύου.
- Μικρότερη καταπόνηση των αγωγών και του αντλιοστασίου του δικτύου που οδηγεί στη μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.
- Βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης των καταναλωτών.
- Δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγαλύτερων παροχών, χωρίς την αύξηση της ισχύος του υφιστάμενου αντλιοστασίου, κάνοντας πιο αξιόπιστη τη λειτουργία του δικτύου ύδρευσης και αποφεύγοντας δαπάνες για νέο εξοπλισμό.



- Μείωση του κόστους λειτουργίας και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του συστήματος ύδρευσης μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας.

Συνοψίζοντας, μέσα από την εφαρμογή διαφορετικών επεμβάσεων και σεναρίων ζήτησης στο δίκτυο φαίνεται ότι η εγκατάσταση των PSVs είναι απαραίτητη για τη βελτίωση του δικτύου, την αντιμετώπιση χαμηλών πιέσεων και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Το σενάριο επεμβάσεων 2 πλεονεκτεί έναντι του σεναρίου επεμβάσεων 1, καθώς πετυχαίνει μεγαλύτερο ποσοστό κόμβων με πιέσεις εντός των επιθυμητών ορίων και παρουσιάζει μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, ταυτόχρονα όμως αποτελεί και το πιο επεμβατικό σενάριο καθώς απαιτεί τις περισσότερες αλλαγές στη διάταξη του δικτύου.

9.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως έχει αναφερθεί, στο υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης Βαρυμπόμης μπορεί να διερευνηθούν πολλοί συνδυασμοί επεμβάσεων για τη βελτίωση της λειτουργίας του.

Όσον αφορά μελλοντική έρευνα προτείνονται τα εξής:

- Μείωση της τιμής ρύθμισης στα κατάντη του αντλιοστασίου και εγκατάσταση ενός ωστικού αντλιοστασίου για την εξυπηρέτηση αποκλειστικά της ζώνης 1, στο σενάριο επεμβάσεων 2. Αναμένεται ότι με την επέμβαση αυτή η απόδοση του αντλιοστασίου θα αυξηθεί και θα μειωθούν οι κόμβοι κατανάλωσης με πιέσεις μεγαλύτερες των 70 m.
- Εξοικονόμηση υδατικών πόρων λόγω απωλειών. Εντοπισμός περιοχών ευάλωτων σε απώλειες νερού και αντικατάσταση παλαιών αγωγών.
- Ενσωμάτωση στο μοντέλο των πραγματικών φορτίσεων της δεξαμενής (λήψη δεδομένων ON-OFF των δικλίδων) και εκτίμηση της πραγματική ζήτησης σε κόμβους εκτός του δικτύου που το επηρεάζουν.
- Εξέταση του μοντέλου για σενάρια πυρόσβεσης.
- Το δίκτυο εξετάστηκε για τις καταναλώσεις του 2022, δηλ. μετά τη φωτιά του 2021, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει την υφιστάμενη κατάσταση. Ωστόσο, πρέπει να γίνει μια μελέτη για την κάλυψη της ζήτησης σε περίπτωση ανοικοδόμησης της Βαρυμπόμης, αποκατάστασης του δικτύου και μεγαλύτερων ζητήσεων.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελόπουλος Δ. (2019). Εποπτεία ηλεκτρομηχανικών εγκαταστάσεων υδρευτικού δικτύου μέσω συστήματος SCADA. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Αθήνα.
- Ευστρατιάδης Α. και Κουτσογιάννης Δ. (2006). Σημειώσεις τυπικών υδραυλικών έργων - Μέρος 2: Δίκτυα διανομής. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Καρκατσούλη Ε. (2008). Χρήση μοντέλων επίλυσης κυκλοφοριακών δικτύων ύδρευσης οικισμών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Κίγκας Κ. (2017). Εκτίμηση απωλειών νερού και διαχείριση πίεσης σε δίκτυα ύδρευσης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ. και Ευστρατιάδης Α. (2007). Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων - Μέρος 1: Υδρευτικά Έργα. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ. και Ευστρατιάδης Α. (2017). Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Υδραγωγεία. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Κοσιιέρης Π. (2023). Σημειώσεις Διαχείρισης Αστικού Νερού: Βασικά στοιχεία έργων ύδρευσης. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Μακρόπουλος Χ., Ευστρατιάδης Α. και Κοσιιέρης Π. (2019). Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Υδρεύσεις. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Νάνου-Γιάνναρου Α. (2018). Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Υδραυλική κλειστών αγωγών υπό πίεση. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Παντζάλης Ν. (2017). Μηχανική των Ρευστών. Έκδοση Β'. Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου. Αθήνα
- Στάμου Α. (2016). Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Ροή υπό πίεση και με ελεύθερη επιφάνεια (3^η Έκδοση). Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα.
- Σιδηρόπουλος Π. (2016). Αντλίες και αντλιοστάσια. Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Θεσσαλία.
- Τσακίρης Γ. (2008). Υδρεύσεις οικισμών. Συμπληρωματικές πρόχειρες σημειώσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Τσακίρης Γ. (2010). Υδραυλικά έργα. Σχεδιασμός και Διαχείριση Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα.
- ΥΑ Δ16γ/694/7/117/Γ/2009. Έγκριση Κανονισμού Λειτουργίας Δικτύου Ύδρευσης (Κ.Λ.Δ.Υ.) της Ε.Υ.Δ.Α.Π. Α.Ε. . Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 552/Β'/26-3-2009)
- Χατζηαγγέλου Η. (2002). Υδραυλικά Έργα Ι: υδρεύσεις. Συλλογή έντυπων παραδόσεων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.
- Georgescu, A.M., Georgescu, S.C., Cosoiu, C.I., Hasegan, L., Anton, A., Bucur, D.M. (2015) EPANET Simulation of Control Methods for Centrifugal Pumps Operating under Variable System Demand, *Procedia Engineering*, 119, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.995
- Marchi, A., Simpson, A.R., Lambert, M.F. (2017). Pump operation optimization using rule-based controls, *Procedia Engineering*, 186, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.229
- Rossman L.A. (2000). EPANET 2, USERS MANUAL. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268.
- Todini E. and Pilati S. (1987). A gradient method for the analysis of pipe networks. International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution, Leicester Polytechnic, UK, September 8-10.



Ιστότοποι και άλλες πηγές

1. <https://www.autodesk.com> (Πρόσβαση στις 02/10/2023)
2. <https://www.epa.gov> (Πρόσβαση στις 02/10/2023)
3. <https://www.epacad.com> (Πρόσβαση στις 02/10/2023)
4. Google Earth Pro (Πρόσβαση στις 02/07/2023)



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Οι τυπικές τιμές των διαμέτρων των αγωγών του εμπορίου για κάθε υλικό παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες Π1 μέχρι Π4. Στους σωλήνες από χάλυβα και αμιαντοσιμέντο η ονομαστική διάμετρος ταυτίζεται με την εσωτερική (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017). Στον Πίνακα Π5 παρουσιάζονται τα ζεύγη τιμών της καμπύλης παροχής-μανομετρικού ύψους στις ονομαστικές στροφές της αντλίας στο αντλιοστάσιο SHO7 της Νέας Βαρυμπόμπης. Στον Πίνακα Π6 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αγωγών που εισήχθησαν στο μοντέλο ΕΡΑΝΕΤ.

Πίνακας Π 1 Διάμετροι αγωγών από χάλυβα (DIN 24400/1).

Ονομαστική διάμετρος	Ονομαστική διάμετρος	Εξωτερική διάμετρος	Πάχος σωλήνα
inch	mm	mm	mm
1/2	15	21.3	0.5-2.0
3/4	20	26.9	0.5-2.0
1	25	33.7	0.6-2.2
1 1/4	32	42.4	0.6-2.2
1 1/2	40	48.3	0.6-2.2
2	50	60.3	0.7-2.3
2 1/2	65	76.1	0.7-2.3
3	80	88.9	0.8-2.5
4	100	114.3	0.8-2.5
5	125	139.7	1.0-2.6
6	150	165.1	1.0-2.6
8	200	219	1.0-2.9
10	250	273	1.0-2.9
12	300	325	1.0-3.2

Πίνακας Π 2 Διάμετροι αμιαντοσιμεντοσωλήνων (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017).

Ονομαστική διάμετρος	Ονομαστική διάμετρος	Εξωτερική διάμετρος
inch	mm	mm
3	75	102
4	100	126
6	150	182
8	200	244
10	250	284
12	300	334
14	350	390
15	400	421
16	450	448
18	500	502
20	550	554
24	600	662



Πίνακας Π 3 Διάμετροι αγωγών PVC (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017; ΕΛΟΤ 1452-2).

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)		
	10 atm	12.5 atm	16 atm
63	57.0		53.6
75	67.8		63.8
90	81.4	79.0	76.6
110	99.4	97.0	93.6
125	113.0	110.2	106.4
140	126.6	123.6	119.2
160	144.6	141.2	136.2
200	180.8	176.4	170.2
225	203.4	198.6	191.6
250	226.2	220.6	212.8
280	253.2	247.0	238.4
315	285.0	278.0	268.2
355	321.2	313.2	
400	361.8	353.2	340.6
450	407.0	397.0	
500	452.2	441.2	

Πίνακας Π 4 Διάμετροι αγωγών από HDPE (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2017).

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)					
	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
63	55.4	53.6	51.4	48.8	45.8	42.0
75	66.0	63.8	61.4	58.2	54.4	50.0
90	79.2	76.6	73.6	69.8	65.4	60.0
110	96.8	93.8	90.0	85.4	79.8	73.4
125	110.2	106.6	102.2	97.0	90.8	83.4
140	123.4	119.4	114.6	108.6	101.6	93.4
160	141.0	136.4	130.8	124.2	116.2	106.8
180	158.6	153.4	147.2	139.8	130.8	120.2
200	176.2	170.6	163.6	155.2	145.2	133.6
225	198.2	191.8	184.0	174.6	163.4	150.2
250	220.4	213.2	204.6	194.2	181.6	167.0
280	246.8	238.8	229.2	217.4	203.4	187.0
315	277.6	268.6	257.8	244.6	228.8	210.4
355	312.8	302.8	290.6	275.6	258.0	
400	352.6	341.2	327.4	310.6	290.6	
450	396.6	383.8	368.2	349.4	327.0	
500	440.6	526.4	409.2	388.4		
560	493.6	477.6	458.4			
630	555.2	537.4	515.6			



Πίνακας Π 5 Ζεύγη τιμών της καμπύλης παροχής-μανομετρικού ύψους στις ονομαστικές στροφές (Πηγή: Υπηρεσία Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Ύδρευσης της Διεύθυνσης Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ).

A/A	Παροχή (L/sec)	Μανομετρικό ύψος (m)	A/A	Παροχή (L/sec)	Μανομετρικό ύψος (m)
1	16.39	57.71	26	37.79	51.56
2	17.25	57.60	27	38.65	51.17
3	18.10	57.48	28	39.50	50.76
4	18.96	57.35	29	40.36	50.35
5	19.81	57.20	30	41.21	49.92
6	20.67	57.05	31	42.07	49.48
7	21.53	56.88	32	42.93	49.03
8	22.38	56.71	33	43.78	48.57
9	23.24	56.52	34	44.64	48.10
10	24.09	56.32	35	45.49	47.61
11	24.95	56.10	36	46.35	47.12
12	25.81	55.88	37	47.21	46.61
13	26.66	55.65	38	48.06	46.09
14	27.52	55.40	39	48.92	45.56
15	28.37	55.14	40	49.77	45.02
16	29.23	54.87	41	50.63	44.47
17	30.09	54.59	42	51.49	43.90
18	30.94	54.30	43	52.34	43.33
19	31.80	54.00	44	53.20	42.74
20	32.65	53.69	45	54.05	42.14
21	33.51	53.36	46	54.91	41.53
22	34.37	53.02	47	55.77	40.91
23	35.22	52.68	48	56.62	40.28
24	36.08	52.32	49	57.48	39.64
25	36.93	51.95	50	58.33	38.98

Πίνακας Π 6 Τα χαρακτηριστικά των αγωγών που εισήχθησαν στο μοντέλο EPANET.

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			m	mm	
P_1	3.0	400	0.26	AP_376	3.0	19.05	0.15
P_2	6.0	400	0.26	AP_377	3.0	19.05	0.15
P_3	3.0	400	0.26	AP_378	3.0	19.05	0.15
P_5	3.0	800	0.26	AP_379	3.0	19.05	0.15
P_7	48.3	200	0.5	AP_380	3.0	19.05	0.15
P_8	113.4	200	0.5	AP_381	3.0	19.05	0.15
P_9	76.2	200	0.5	AP_383	3.0	19.05	0.15
P_12	193.3	400	0.26	AP_384	3.0	19.05	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			mm	m	
P_16	5.5	400	0.26	AP_385	3.0	19.05	0.15
P_17	4.7	400	0.26	AP_386	3.0	19.05	0.15
P_22	9.0	200	0.5	AP_387	3.0	19.05	0.15
P_24	13.3	200	0.5	AP_388	3.0	19.05	0.15
P_26	15.5	150	0.5	AP_389	3.0	19.05	0.15
P_28	557.1	200	0.5	AP_390	3.0	19.05	0.15
P_29	31.9	200	0.5	AP_391	3.0	19.05	0.15
P_30	5.4	200	0.5	AP_392	3.0	19.05	0.15
P_31	756.0	400	0.26	AP_393	3.0	19.05	0.15
P_33	3.0	80	0.5	AP_394	3.0	19.05	0.15
P_35	6.0	80	0.5	AP_395	3.0	19.05	0.15
P_40	92.9	100	0.5	AP_396	3.0	19.05	0.15
P_41	21.1	100	0.5	AP_397	3.0	19.05	0.15
P_44	11.4	100	0.5	AP_398	3.0	19.05	0.15
P_45	115.7	150	0.5	AP_399	3.0	19.05	0.15
P_47	3.0	12.7	0.15	AP_400	3.0	19.05	0.15
P_49	4.9	150	0.5	AP_401	3.0	19.05	0.15
P_51	4.5	150	0.5	AP_402	3.0	19.05	0.15
P_55	5.4	100	0.5	AP_403	3.0	19.05	0.15
P_58	6.0	100	0.5	AP_404	3.0	19.05	0.15
P_59	3.0	100	0.5	AP_405	3.0	19.05	0.15
P_61	14.0	100	0.5	AP_406	3.0	19.05	0.15
P_63	6.7	100	0.5	AP_407	3.0	19.05	0.15
P_64	6.0	100	0.5	AP_408	3.0	19.05	0.15
P_71	6.0	100	0.5	AP_409	3.0	19.05	0.15
P_72	8.8	200	0.5	AP_410	3.0	19.05	0.15
P_77	3.0	12.7	0.15	AP_411	3.0	19.05	0.15
P_79	72.6	100	0.5	AP_412	3.0	19.05	0.15
P_80	14.5	100	0.5	AP_413	3.0	19.05	0.15
P_81	7.2	100	0.5	AP_414	3.0	19.05	0.15
P_83	4.5	100	0.5	AP_415	3.0	19.05	0.15
P_88	8.3	38.1	0.15	AP_416	3.0	19.05	0.15
P_90	783.7	400	0.26	AP_417	3.0	19.05	0.15
P_91	12.9	96.3	0.0015	AP_418	3.0	19.05	0.15
P_92	5.3	96.3	0.0015	AP_419	3.0	19.05	0.15
P_93	2.9	150	0.5	AP_420	3.0	19.05	0.15
P_95	2.8	150	0.5	AP_421	3.0	19.05	0.15
P_96	6.2	100	0.5	AP_422	3.0	19.05	0.15
P_97	16.6	100	0.5	AP_423	3.0	19.05	0.15
P_98	50.5	100	0.5	AP_424	3.0	19.05	0.15
P_100	4.9	100	0.5	AP_425	3.0	19.05	0.15
P_101	1.6	100	0.5	AP_426	3.0	19.05	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			mm	m	
P_102	6.3	100	0.5	AP_427	3.0	19.05	0.15
P_104	7.0	100	0.5	AP_428	3.0	19.05	0.15
P_107	8.8	100	0.5	AP_429	3.0	19.05	0.15
P_109	6.3	100	0.5	AP_430	3.0	19.05	0.15
P_112	5.3	100	0.5	AP_431	65.0	19.05	0.15
P_114	1.7	100	0.5	AP_432	65.0	19.05	0.15
P_116	15.1	100	0.5	AP_38	3.0	19.05	0.15
P_117	14.0	100	0.5	AP_67	85.0	19.05	0.15
P_119	5.0	100	0.5	AP_433	3.0	19.05	0.15
P_122	5.6	100	0.5	AP_434	3.0	19.05	0.15
P_124	2.1	100	0.5	AP_435	3.0	19.05	0.15
P_126	3.0	100	0.5	AP_436	3.0	19.05	0.15
P_130	11.8	200	0.5	AP_437	3.0	19.05	0.15
P_131	188.7	400	0.26	AP_438	3.0	19.05	0.15
P_132	9.2	400	0.26	AP_439	3.0	19.05	0.15
P_133	3.4	400	0.26	AP_440	3.0	19.05	0.15
P_134	2.3	400	0.26	AP_441	3.0	19.05	0.15
P_135	14.6	400	0.26	AP_442	3.0	19.05	0.15
P_136	8.3	200	0.5	AP_443	3.0	19.05	0.15
P_138	12.3	100	0.5	AP_444	3.0	19.05	0.15
P_139	7.3	100	0.5	AP_445	3.0	19.05	0.15
P_142	11.4	100	0.5	AP_446	3.0	19.05	0.15
P_144	1.9	19.05	0.15	AP_447	3.0	19.05	0.15
P_149	4.8	100	0.5	AP_448	3.0	19.05	0.15
P_150	1.8	100	0.5	AP_449	3.0	19.05	0.15
P_152	2.0	100	0.5	AP_450	3.0	19.05	0.15
P_154	8.2	100	0.5	AP_451	3.0	19.05	0.15
P_157	76.5	19.05	0.15	AP_452	3.0	19.05	0.15
P_158	2.4	19.05	0.15	AP_453	3.0	19.05	0.15
P_160	61.8	19.05	0.15	AP_454	3.0	19.05	0.15
P_162	7.0	100	0.5	AP_455	3.0	19.05	0.15
P_163	6.6	100	0.5	AP_456	3.0	19.05	0.15
P_164	82.3	100	0.5	AP_457	3.0	19.05	0.15
P_165	90.3	100	0.5	AP_458	3.0	19.05	0.15
P_166	3.5	100	0.5	AP_459	3.0	19.05	0.15
P_167	9.3	100	0.5	AP_460	3.0	19.05	0.15
P_170	77.6	80	0.5	AP_461	3.0	19.05	0.15
P_172	64.4	80	0.5	AP_462	3.0	19.05	0.15
P_174	25.4	19.05	0.15	AP_463	3.0	19.05	0.15
P_175	62.7	19.05	0.15	AP_464	3.0	19.05	0.15
P_177	35.8	19.05	0.15	AP_465	3.0	19.05	0.15
P_181	7.5	150	0.5	AP_466	3.0	19.05	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
P_183	46.2	19.05	0.15	AP_467	3.0	19.05	0.15
P_187	8.6	19.05	0.15	P?_1	48.0	19.05	0.15
P_192	2.9	140.2	0.0015	P?_2	35.0	19.05	0.15
P_193	9.0	140.2	0.0015	P?_3	27.1	19.05	0.15
P_195	2.5	140.2	0.0015	P?_4	12.0	19.05	0.15
P_197	14.8	93.6	0.0015	P?_5	39.4	19.05	0.15
P_204	55.9	19.05	0.15	P?_6	37.5	19.05	0.15
P_206	6.3	100	0.5	P?_7	37.5	19.05	0.15
P_210	133.8	19.05	0.15	P?_8	32.7	19.05	0.15
P_215	22.0	19.05	0.15	AP_477	3.0	19.05	0.15
P_217	14.8	19.05	0.15	AP_478	3.0	19.05	0.15
P_218	22.9	19.05	0.15	AP_479	3.0	19.05	0.15
P_219	113.3	19.05	0.15	AP_480	3.0	19.05	0.15
P_221	9.3	19.05	0.15	AP_481	3.0	19.05	0.15
P_223	4.0	96.3	0.0015	AP_482	3.0	19.05	0.15
P_224	5.2	96.3	0.0015	AP_483	3.0	19.05	0.15
P_227	8.9	140.2	0.0015	AP_484	3.0	19.05	0.15
P_230	45.3	19.05	0.15	AP_485	3.0	19.05	0.15
P_236	2.2	150	0.5	PM_9	35.0	19.05	0.15
P_238	88.1	150	0.5	PM_10	62.8	19.05	0.15
P_241	2.1	150	0.5	PM_11	46.0	19.05	0.15
P_242	75.4	150	0.5	PM_12	26.4	19.05	0.15
P_243	3.7	150	0.5	PM_13	8.6	19.05	0.15
P_244	1.5	150	0.5	PM_14	48.5	19.05	0.15
P_245	8.2	150	0.5	PM_15	15.2	19.05	0.15
P_246	2.5	150	0.5	PM_16	3.4	19.05	0.15
P_247	64.8	150	0.5	PM_17	10.2	19.05	0.15
P_248	5.0	150	0.5	PM_18	18.0	19.05	0.15
P_250	1.8	150	0.5	PM_19	45.7	19.05	0.15
P_252	3.6	150	0.5	PM_20	17.5	19.05	0.15
P_253	2.3	150	0.5	PM_21	63.8	19.05	0.15
P_255	9.4	101.6	0.15	PM_22	7.0	19.05	0.15
P_256	4.1	101.6	0.15	PM_23	60.6	19.05	0.15
P_258	2.5	19.05	0.15	PM_24	19.6	19.05	0.15
P_259	3.6	19.05	0.15	PM_25	39.0	19.05	0.15
P_260	10.9	19.05	0.15	PM_26	90.3	96.3	0.0015
P_261	1.2	150	0.5	PM_27	37.6	96.3	0.0015
P_262	65.9	150	0.5	PM_28	49.0	19.05	0.15
P_265	3.3	150	0.5	PM_29	24.5	19.05	0.15
P_267	13.6	150	0.5	PM_30	22.2	19.05	0.15
P_268	13.0	19.05	0.15	PM_31	58.7	19.05	0.15
P_270	12.4	19.05	0.15	PM_32	29.9	19.05	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
P_272	86.5	100	0.5	PM_33	31.4	19.05	0.15
P_274	8.3	100	0.5	PM_34	108.0	96.3	0.0015
P_275	2.0	100	0.5	PM_35	61.8	96.3	0.0015
P_277	4.2	100	0.5	PM_36	45.3	96.3	0.0015
P_278	4.9	100	0.5	PM_37	54.8	96.3	0.0015
P_279	137.7	125	0.5	PM_38	20.5	96.3	0.0015
P_282	1.2	125	0.5	PM_39	29.8	19.05	0.15
P_283	1.8	125	0.5	PM_40	33.1	19.05	0.15
P_286	5.6	125	0.5	PM_41	15.9	19.05	0.15
P_288	5.0	125	0.5	PM_42	69.0	19.05	0.15
P_290	2.6	96.3	0.0015	PM_43	34.0	19.05	0.15
P_291	1.0	96.3	0.0015	PM_44	17.0	19.05	0.15
P_292	3.3	96.3	0.0015	PM_45	48.2	19.05	0.15
P_293	17.1	96.3	0.0015	PM_46	65.1	19.05	0.15
P_294	1.1	96.3	0.0015	PM_47	1.7	19.05	0.15
P_295	3.4	140.2	0.0015	PM_48	5.0	19.05	0.15
P_297	3.2	80	0.5	PM_49	15.7	19.05	0.15
P_298	122.6	200	0.5	PM_50	35.8	19.05	0.15
P_300	1.2	200	0.5	PM_51	23.9	19.05	0.15
P_306	157.1	400	0.26	PM_52	41.3	19.05	0.15
P_307	16.5	100	0.5	PM_53	50.8	19.05	0.15
P_308	2.4	100	0.5	PM_54	25.5	19.05	0.15
P_311	5.2	100	0.5	PM_55	38.8	19.05	0.15
P_312	7.4	100	0.5	PM_56	23.7	19.05	0.15
P_314	16.4	100	0.5	PM_57	45.1	19.05	0.15
P_316	15.2	100	0.5	PM_58	48.0	19.05	0.15
P_318	5.3	80	0.5	PM_59	34.4	19.05	0.15
P_319	53.5	80	0.5	PM_60	12.4	19.05	0.15
P_320	56.6	80	0.5	PM_61	18.7	19.05	0.15
P_322	1.8	80	0.5	PM_62	16.3	19.05	0.15
P_324	61.9	80	0.5	PM_63	46.8	19.05	0.15
P_326	2.5	80	0.5	PM_64	18.9	19.05	0.15
P_327	56.8	80	0.5	PM_65	17.4	19.05	0.15
P_328	56.0	80	0.5	PM_66	3.7	19.05	0.15
P_329	5.0	80	0.5	PM_67	7.3	19.05	0.15
P_330	4.9	80	0.5	PM_68	27.2	19.05	0.15
P_332	56.6	80	0.5	PM_69	14.8	19.05	0.15
P_333	56.2	80	0.5	PM_70	11.6	19.05	0.15
P_335	5.1	80	0.5	PM_71	18.5	19.05	0.15
P_336	5.4	80	0.5	PM_72	25.3	19.05	0.15
P_337	2.7	96.3	0.0015	PM_73	19.8	19.05	0.15
P_338	2.5	96.3	0.0015	PM_74	24.7	19.05	0.15



**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ**

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
P_339	53.2	19.05	0.15	PM_75	10.9	19.05	0.15
P_341	2.9	140.2	0.0015	PM_76	42.3	19.05	0.15
P_342	3.7	140.2	0.0015	PM_77	3.0	19.05	0.15
P_344	2.8	140.2	0.0015	PM_78	33.0	19.05	0.15
P_345	34.8	19.05	0.15	PM_79	22.1	100	0.5
P_346	56.7	19.05	0.15	PM_80	37.7	100	0.5
P_347	6.5	140.2	0.0015	PM_81	19.4	19.05	0.15
P_348	383.6	140.2	0.0015	PM_82	20.6	19.05	0.15
P_349	8.4	140.2	0.0015	PM_83	20.3	19.05	0.15
P_350	3.7	140.2	0.0015	PM_84	42.0	19.05	0.15
P_354	46.9	19.05	0.15	PM_85	62.7	19.05	0.15
P_360	1.9	19.05	0.15	PM_86	75.4	19.05	0.15
P_362	18.8	150	0.5	PM_87	35.4	19.05	0.15
P_363	7.5	150	0.5	PM_88	6.6	19.05	0.15
P_365	3.1	19.05	0.15	PM_89	10.0	19.05	0.15
P_366	3.0	100	0.5	PM_90	18.9	19.05	0.15
P_367	1.5	100	0.5	PM_91	31.9	19.05	0.15
P_368	4.0	140.2	0.0015	PM_92	1.1	19.05	0.15
P_369	2.5	100	0.5	PM_93	48.9	93.6	0.0015
P_370	1.3	200	0.5	PM_94	13.1	93.6	0.0015
P_371	1.3	200	0.5	PM_95	7.2	93.6	0.0015
P_372	3.9	100	0.5	PM_96	22.3	19.05	0.15
P_373	9.1	200	0.5	PM_97	20.5	19.05	0.15
P_374	4.3	200	0.5	PM_98	29.4	19.05	0.15
P_375	8.0	150	0.5	PM_99	74.3	19.05	0.15
P_376	3.9	150	0.5	PM_100	7.3	19.05	0.15
P_377	3.5	150	0.15	PM_101	14.5	19.05	0.15
P_378	2.5	100	0	PM_102	18.9	19.05	0.15
P_379	3.9	100	0	PM_103	92.5	19.05	0.15
P_380	4.8	100	0.5	PM_104	10.0	19.05	0.15
P_381	8.1	150	0.5	PM_105	11.1	19.05	0.15
P_382	11.0	150	0.5	PM_106	14.7	19.05	0.15
P_383	2.9	150	0.5	PM_107	15.4	19.05	0.15
P_384	1.5	150	0.5	PM_108	9.5	19.05	0.15
P_385	2.0	150	0.5	PM_109	7.4	19.05	0.15
P_387	39.7	400	0.26	PM_110	32.6	19.05	0.15
P_388	3.3	100	0.5	PM_111	25.1	19.05	0.15
P_389	4.5	100	0.5	PM_112	51.8	19.05	0.15
P_390	2.2	100	0.5	PM_113	9.8	19.05	0.15
P_391	1352.2	400	0.26	PM_114	51.6	19.05	0.15
P_392	13.0	400	0.26	PM_115	124.4	19.05	0.15
P_393	455.6	400	0.26	PM_116	54.5	140.2	0.0015



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
P_394	29.9	400	0.26	PM_117	13.3	140.2	0.0015
P_395	4.2	100	0.5	PM_118	126.8	140.2	0.0015
P_396	3.7	100	0.5	PM_119	115.7	140.2	0.0015
P_397	5.1	100	0.5	PM_120	32.1	140.2	0.0015
P_398	6.9	400	0.26	PM_121	7.3	19.05	0.15
P_399	5.8	100	0.5	PM_122	14.2	19.05	0.15
P_400	5.2	100	0.5	PM_123	14.4	19.05	0.15
P_401	4.9	100	0.5	PM_124	48.0	19.05	0.15
P_402	2384.4	150	0.5	PM_125	60.2	19.05	0.15
P_403	224.4	150	0.5	PM_126	15.2	19.05	0.15
P_404	455.0	400	0.26	PM_127	56.2	19.05	0.15
P_405	897.4	400	0.26	PM_128	50.4	19.05	0.15
P_406	15.5	400	0.26	PM_129	13.7	19.05	0.15
P_407	5.0	400	0.26	PM_130	5.6	19.05	0.15
P_408	145.3	400	0.26	PM_131	15.1	19.05	0.15
P_409	8.9	400	0.26	PM_132	23.8	150	0.5
P_410	260.3	500	0.26	PM_133	20.5	150	0.5
P_411	4.5	500	0.26	PM_134	22.3	150	0.5
P_412	2.6	300	0.15	PM_135	11.6	150	0.5
P_413	4.4	300	0.15	PM_136	45.0	150	0.5
P_414	5.1	300	0.15	PM_137	10.7	19.05	0.15
P_415	1.9	150	0.5	PM_138	103.9	19.05	0.15
P_416	25.9	150	0.5	PM_139	14.8	19.05	0.15
P_417	6.0	100	0.5	PM_140	39.2	19.05	0.15
P_418	5.6	100	0.5	PM_141	7.0	19.05	0.15
P_419	4.0	100	0.5	PM_142	51.8	19.05	0.15
P_420	3.6	100	0.5	PM_143	39.8	19.05	0.15
P_421	6.2	100	0.5	PM_144	46.7	19.05	0.15
P_422	4.5	300	0.15	PM_145	14.2	19.05	0.15
P_423	12.1	300	0.15	PM_146	18.7	19.05	0.15
P_424	4.6	900	0.15	PM_147	34.0	19.05	0.15
P_425	3.7	900	0.15	PM_148	59.1	19.05	0.15
P_426	272.7	900	0.15	PM_149	3.1	19.05	0.15
P_427	74.6	900	0.15	PM_150	27.7	19.05	0.15
P_428	993.5	900	0.15	PM_151	30.5	19.05	0.15
P_429	3.4	900	0.15	PM_152	47.4	19.05	0.15
P_430	551.3	900	0.15	PM_153	70.0	19.05	0.15
P_431	380.0	900	0.15	PM_154	18.7	19.05	0.15
P_432	204.7	900	0.15	PM_155	5.3	19.05	0.15
P_433	257.6	900	0.15	PM_156	11.5	19.05	0.15
P_434	129.5	900	0.15	PM_157	46.5	19.05	0.15
P_435	363.3	900	0.15	PM_158	11.1	19.05	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
P_436	501.5	900	0.15	PM_159	18.3	19.05	0.15
P_437	361.6	900	0.15	PM_160	100.2	19.05	0.15
P_438	131.7	900	0.15	PM_161	36.6	19.05	0.15
P_439	7.1	900	0.15	PM_162	42.9	19.05	0.15
P_440	10.2	900	0.15	PM_163	22.5	19.05	0.15
P_444	1.7	900	0.15	PM_164	55.4	19.05	0.15
P_445	1.8	900	0.15	PM_165	17.1	19.05	0.15
P_446	12.5	900	0.15	PM_166	49.5	19.05	0.15
P_447	522.4	900	0.15	PM_167	2.4	19.05	0.15
P_448	495.8	1000	0.15	PM_168	1.0	19.05	0.15
P_449	1.7	1000	0.15	PM_169	12.1	19.05	0.15
P_450	2.2	600	0.26	PM_170	42.0	19.05	0.15
P_451	5.8	600	0.26	PM_171	17.4	19.05	0.15
P_452	1.5	300	0.15	PM_172	16.9	19.05	0.15
P_453	3.0	300	0.15	PM_173	22.0	19.05	0.15
P_455	43.0	1000	0.15	PM_174	19.0	19.05	0.15
P_456	41.5	1000	0.15	PM_175	117.8	140.2	0.015
P_457	7.2	300	0.5	PM_176	19.5	140.2	0.0015
P_458	3.8	300	0.5	PM_177	246.4	140.2	0.0015
P_459	5.4	300	0.5	PM_178	40.2	19.05	0.15
P_460	13.8	150	0.5	PM_179	11.2	19.05	0.15
P_461	4.3	150	0.5	PM_180	20.0	140.2	0.0015
P_462	5.0	300	0.15	PM_181	27.3	140.2	0.0015
P_463	5.0	150	0.5	PM_182	148.7	140.2	0.0015
P_464	11.7	300	0.15	PM_183	25.9	140.2	0.0015
P_465	18.2	300	0.15	PM_184	73.8	140.2	0.0015
P_466	5.0	300	0.15	PM_185	37.6	80	0.5
P_467	5.0	300	0.15	PM_186	20.9	80	0.5
P_468	4.5	300	0.15	PM_187	256.7	80	0.5
P_469	10.4	300	0.15	PM_188	33.8	19.05	0.15
P_470	7.4	300	0.15	PM_189	25.7	19.05	0.15
P_471	7.2	300	0.15	PM_190	29.5	80	0.5
P_472	15.7	300	0.15	PM_191	22.3	80	0.5
P_473	0.8	136.2	0.0015	PM_192	28.8	80	0.5
P_474	108.3	136.2	0.0015	PM_193	19.3	80	0.5
P_475	17.8	250	0.5	PM_194	27.2	80	0.5
P_476	8.6	250	0.5	PM_195	27.8	80	0.5
P_477	99.1	150	0.5	PM_196	28.4	80	0.5
P_478	3.7	150	0	PM_197	23.3	80	0.5
P_479	4.7	50.8	0.15	PM_198	30.5	80	0.5
P_480	3.4	50.8	0.15	PM_199	22.7	80	0.5
P_517	1.5	150	0.5	PM_200	12.2	150	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ EPANET

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			mm	m	
P_518	2.7	150	0.5	PM_201	20.7	150	0.5
P_519	7.5	150	0.5	PM_202	20.2	150	0.5
P_520	6.5	150	0.5	PM_203	18.0	150	0.5
P_521	6.8	100	0.5	PM_204	39.9	150	0.5
P_522	4.9	100	0.5	PM_205	8.9	150	0.5
P_523	6.0	100	0.5	PM_206	26.4	150	0.5
P_524	2.5	200	0.5	PM_207	10.9	150	0.5
P_525	16.6	200	0.5	PM_208	7.5	150	0.5
P_526	4.7	140.2	0.0015	PM_209	157.1	150	0.5
P_531	12.0	400	0.26	PM_210	92.8	150	0.5
P_532	6.0	400	0.26	PM_211	59.6	150	0.5
P_533	6.0	400	0.26	PM_212	20.6	150	0.5
7	100.0	2000	0.15	PM_213	192.2	150	0.5
8	100.0	2000	0.15	PM_214	173.2	150	0.5
AP_1	3.0	19.05	0.15	PM_215	10.3	150	0.5
AP_2	3.0	19.05	0.15	PM_216	363.0	150	0.5
AP_3	3.0	19.05	0.15	PM_217	18.7	80	0.5
AP_4	3.0	19.05	0.15	PM_218	77.6	80	0.5
AP_5	3.0	19.05	0.15	PM_219	58.9	80	0.5
AP_6	3.0	19.05	0.15	PM_220	13.6	80	0.5
AP_7	3.0	19.05	0.15	PM_221	18.8	100	0.5
AP_8	3.0	19.05	0.15	PM_222	6.5	100	0.5
AP_9	3.0	19.05	0.15	PM_223	26.3	100	0.5
AP_10	3.0	19.05	0.15	PM_224	22.8	19.05	0.15
AP_11	3.0	19.05	0.15	PM_225	38.3	19.05	0.15
AP_12	3.0	19.05	0.15	PM_226	21.6	19.05	0.15
AP_13	3.0	19.05	0.15	PM_227	22.5	19.05	0.15
AP_14	3.0	19.05	0.15	PM_228	17.5	19.05	0.15
AP_16	3.0	19.05	0.15	PM_229	34.0	19.05	0.15
AP_17	3.0	19.05	0.15	PM_230	42.1	19.05	0.15
AP_18	3.0	19.05	0.15	PM_231	39.0	100	0.5
AP_19	3.0	19.05	0.15	PM_232	18.9	100	0.5
AP_21	3.0	19.05	0.15	PM_233	41.2	100	0.5
AP_22	3.0	19.05	0.15	PM_234	77.2	100	0.5
AP_24	3.0	19.05	0.15	PM_235	19.3	100	0.5
AP_25	3.0	19.05	0.15	PM_236	98.1	100	0.5
AP_26	3.0	19.05	0.15	PM_237	17.7	100	0.5
AP_27	3.0	19.05	0.15	PM_238	64.4	100	0.5
AP_28	3.0	19.05	0.15	PM_239	6.4	100	0.5
AP_29	3.0	19.05	0.15	PM_240	48.9	100	0.5
AP_30	3.0	19.05	0.15	PM_241	32.1	100	0.5
AP_31	3.0	19.05	0.15	PM_242	49.9	100	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
AP_20	3.0	19.05	0.15	PM_243	46.9	100	0.5
AP_23	3.0	19.05	0.15	PM_244	29.1	100	0.5
AP_32	3.0	19.05	0.15	PM_245	7.2	100	0.5
AP_33	3.0	19.05	0.15	PM_246	28.7	100	0.5
AP_34	3.0	19.05	0.15	PM_247	6.7	100	0.5
AP_35	3.0	19.05	0.15	PM_248	22.4	100	0.5
AP_36	3.0	19.05	0.15	PM_249	3.1	19.05	0.15
AP_37	3.0	19.05	0.15	PM_250	7.9	19.05	0.15
AP_39	3.0	19.05	0.15	PM_251	33.5	19.05	0.15
AP_40	3.0	19.05	0.15	PM_252	22.1	19.05	0.15
AP_41	3.0	19.05	0.15	PM_253	27.9	19.05	0.15
AP_42	3.0	19.05	0.15	PM_254	39.8	19.05	0.15
AP_43	3.0	19.05	0.15	PM_255	22.4	100	0.5
AP_44	3.0	19.05	0.15	PM_256	54.0	100	0.5
AP_45	196.0	19.05	0.15	PM_257	23.2	100	0.5
AP_46	3.0	19.05	0.15	PM_258	27.2	100	0.5
AP_47	3.0	19.05	0.15	PM_259	42.7	100	0.5
AP_48	3.0	19.05	0.15	PM_260	37.6	100	0.5
AP_49	3.0	19.05	0.15	PM_261	9.3	100	0.5
AP_50	3.0	19.05	0.15	PM_262	26.4	100	0.5
AP_51	3.0	19.05	0.15	PM_263	24.3	100	0.5
AP_52	3.0	19.05	0.15	PM_264	36.1	100	0.5
AP_53	3.0	19.05	0.15	PM_265	11.3	100	0.5
AP_54	3.0	19.05	0.15	PM_266	3.4	19.05	0.15
AP_55	3.0	19.05	0.15	PM_267	6.4	19.05	0.15
AP_56	3.0	19.05	0.15	PM_268	30.6	19.05	0.15
AP_57	3.0	19.05	0.15	PM_269	22.0	19.05	0.15
AP_58	3.0	19.05	0.15	PM_270	153.4	19.05	0.15
AP_59	3.0	19.05	0.15	PM_271	17.7	19.05	0.15
AP_60	3.0	19.05	0.15	PM_272	8.9	19.05	0.15
AP_61	3.0	19.05	0.15	PM_273	26.7	19.05	0.15
AP_62	3.0	19.05	0.15	PM_274	33.2	19.05	0.15
AP_63	3.0	19.05	0.15	PM_275	8.6	100	0.5
AP_64	3.0	19.05	0.15	PM_276	7.1	100	0.5
AP_65	3.0	19.05	0.15	PM_277	26.1	100	0.5
AP_66	3.0	19.05	0.15	PM_278	4.8	100	0.5
AP_68	3.0	19.05	0.15	PM_279	22.8	100	0.5
AP_69	3.0	19.05	0.15	PM_280	16.1	100	0.5
AP_70	3.0	19.05	0.15	PM_281	6.3	200	0.5
AP_71	3.0	19.05	0.15	PM_282	21.3	200	0.5
AP_72	3.0	19.05	0.15	PM_283	8.3	200	0.5
AP_73	3.0	19.05	0.15	PM_284	57.4	200	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			m	mm	
AP_74	3.0	19.05	0.15	PM_285	20.9	200	0.5
AP_75	3.0	19.05	0.15	PM_286	27.1	200	0.5
AP_76	3.0	19.05	0.15	PM_287	13.0	200	0.5
AP_77	3.0	19.05	0.15	PM_288	33.6	200	0.5
AP_78	3.0	19.05	0.15	PM_289	26.3	200	0.5
AP_79	3.0	19.05	0.15	PM_290	11.7	100	0.5
AP_80	3.0	19.05	0.15	PM_291	50.9	100	0.5
AP_81	3.0	19.05	0.15	PM_292	16.0	100	0.5
AP_82	3.0	19.05	0.15	PM_293	38.5	100	0.5
AP_83	3.0	19.05	0.15	PM_294	19.1	150	0.5
AP_84	3.0	19.05	0.15	PM_295	2.4	150	0.5
AP_85	3.0	19.05	0.15	PM_296	3.0	150	0.5
AP_86	3.0	19.05	0.15	PM_297	41.6	150	0.5
AP_87	3.0	19.05	0.15	PM_298	84.5	150	0.5
AP_88	3.0	19.05	0.15	PM_299	8.5	100	0.5
AP_89	3.0	19.05	0.15	PM_300	10.1	100	0.5
AP_90	3.0	19.05	0.15	PM_301	30.0	100	0.5
AP_91	3.0	19.05	0.15	PM_302	15.2	100	0.5
AP_92	3.0	19.05	0.15	PM_303	54.5	100	0.5
AP_93	3.0	19.05	0.15	PM_304	5.6	100	0.5
AP_94	3.0	19.05	0.15	PM_305	2.8	100	0.5
AP_95	3.0	19.05	0.15	PM_306	7.3	100	0.5
AP_96	3.0	19.05	0.15	AP_468	3.0	19.05	0.15
AP_97	3.0	19.05	0.15	PM_307	12.7	100	0.5
AP_98	3.0	19.05	0.15	PM_308	21.0	100	0.5
AP_99	3.0	19.05	0.15	PM_309	14.4	100	0.5
AP_100	40.0	19.05	0.15	PM_310	5.7	100	0.5
AP_101	3.0	19.05	0.15	PM_311	5.6	100	0.5
AP_102	3.0	19.05	0.15	PM_312	11.4	100	0.5
AP_103	3.0	19.05	0.15	PM_313	45.8	100	0.5
AP_104	3.0	19.05	0.15	PM_314	21.9	100	0.5
AP_105	3.0	19.05	0.15	PM_315	10.8	100	0.5
AP_106	53.0	19.05	0.15	PM_316	29.8	100	0.5
AP_107	16.0	19.05	0.15	PM_317	5.2	19.05	0.15
AP_108	3.0	19.05	0.15	PM_318	8.0	19.05	0.15
AP_109	3.0	19.05	0.15	PM_319	29.0	19.05	0.15
AP_110	3.0	19.05	0.15	PM_320	57.3	19.05	0.15
AP_111	3.0	19.05	0.15	PM_321	18.0	19.05	0.15
AP_112	3.0	19.05	0.15	PM_322	18.6	19.05	0.15
AP_113	3.0	19.05	0.15	PM_323	31.4	150	0.5
AP_114	3.0	19.05	0.15	PM_324	6.0	150	0.5
AP_115	3.0	19.05	0.15	PM_325	10.7	38.1	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			m	mm	
AP_116	3.0	19.05	0.15	PM_326	128.5	38.1	0.15
AP_117	3.0	19.05	0.15	PM_327	16.4	100	0.5
AP_118	3.0	19.05	0.15	PM_328	29.3	100	0.5
AP_119	3.0	19.05	0.15	PM_329	16.9	100	0.5
AP_120	3.0	19.05	0.15	PM_330	17.1	100	0.5
AP_121	3.0	19.05	0.15	PM_331	25.8	100	0.5
AP_122	3.0	19.05	0.15	PM_332	73.1	100	0.5
AP_123	3.0	19.05	0.15	PM_333	28.6	100	0.5
AP_124	105.0	19.05	0.15	PM_334	34.5	100	0.5
AP_125	3.0	19.05	0.15	PM_335	28.0	100	0.5
AP_126	3.0	19.05	0.15	PM_336	49.4	100	0.5
AP_127	3.0	19.05	0.15	PM_338	35.0	100	0.5
AP_128	3.0	19.05	0.15	PM_339	26.8	100	0.5
AP_129	3.0	19.05	0.15	PM_340	9.7	100	0.5
AP_130	3.0	19.05	0.15	PM_341	29.4	38.1	0.15
AP_131	3.0	19.05	0.15	PM_342	72.7	38.1	0.16
AP_132	3.0	19.05	0.15	PM_343	37.3	38.1	0.15
AP_133	3.0	19.05	0.15	PM_344	18.6	38.1	0.15
AP_134	3.0	19.05	0.15	PM_345	6.3	100	0.5
AP_135	3.0	19.05	0.15	PM_346	5.0	100	0.5
AP_136	3.0	19.05	0.15	PM_347	10.4	100	0.5
AP_137	3.0	19.05	0.15	PM_348	18.8	100	0.5
AP_138	3.0	19.05	0.15	PM_349	55.4	100	0.5
AP_139	3.0	19.05	0.15	PM_350	63.1	100	0.5
AP_140	3.0	19.05	0.15	PM_351	24.0	100	0.5
AP_141	3.0	19.05	0.15	PM_352	28.1	25.4	0.15
AP_142	3.0	19.05	0.15	PM_353	65.8	25.4	0.15
AP_143	3.0	19.05	0.15	PM_354	12.3	25.4	0.15
AP_144	3.0	19.05	0.15	PM_355	27.7	25.4	0.15
AP_145	3.0	19.05	0.15	PM_356	4.5	25.4	0.15
AP_146	3.0	19.05	0.15	PM_357	19.0	25.4	0.15
AP_147	3.0	19.05	0.15	PM_358	12.1	25.4	0.15
AP_148	3.0	19.05	0.15	PM_359	33.7	25.4	0.15
AP_149	3.0	19.05	0.15	PM_360	2.0	100	0.5
AP_150	3.0	19.05	0.15	PM_361	20.7	100	0.5
AP_151	3.0	19.05	0.15	PM_362	40.3	100	0.5
AP_152	3.0	19.05	0.15	PM_363	16.7	100	0.5
AP_153	3.0	19.05	0.15	PM_364	4.5	38.1	0.15
AP_154	3.0	19.05	0.15	PM_365	46.5	38.1	0.15
AP_155	3.0	19.05	0.15	PM_366	52.0	38.1	0.15
AP_156	3.0	19.05	0.15	PM_367	81.1	38.1	0.15
AP_157	3.0	19.05	0.15	PM_368	81.6	38.1	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
AP_158	3.0	19.05	0.15	PM_369	67.5	38.1	0.15
AP_159	3.0	19.05	0.15	PM_370	108.0	100	0.5
AP_160	3.0	19.05	0.15	PM_371	28.4	100	0.5
AP_161	3.0	19.05	0.15	PM_372	28.4	100	0.5
AP_162	3.0	19.05	0.15	PM_373	20.1	100	0.5
AP_163	3.0	19.05	0.15	PM_374	61.3	100	0.5
AP_164	3.0	19.05	0.15	PM_375	8.0	100	0.5
AP_165	3.0	19.05	0.15	PM_376	20.2	100	0.5
AP_166	3.0	19.05	0.15	PM_377	8.0	100	0.5
AP_167	40.0	19.05	0.15	PM_378	44.7	100	0.5
AP_168	3.0	19.05	0.15	PM_379	11.3	100	0.5
AP_169	3.0	19.05	0.15	PM_380	14.3	100	0.5
AP_170	3.0	19.05	0.15	PM_381	19.3	100	0.5
AP_171	3.0	19.05	0.15	PM_382	90.6	100	0.5
AP_172	3.0	19.05	0.15	PM_383	50.8	100	0.5
AP_173	3.0	19.05	0.15	PM_384	38.1	100	0.5
AP_174	3.0	19.05	0.15	PM_385	25.8	100	0.5
AP_175	3.0	19.05	0.15	PM_386	20.5	19.05	0.15
AP_176	3.0	19.05	0.15	PM_387	22.5	19.05	0.15
AP_177	3.0	19.05	0.15	PM_388	51.5	19.05	0.15
AP_178	3.0	19.05	0.15	PM_389	31.3	19.05	0.15
AP_179	3.0	19.05	0.15	PM_390	77.3	19.05	0.15
AP_180	3.0	19.05	0.15	PM_391	22.2	19.05	0.15
AP_181	3.0	19.05	0.15	AP_469	3.0	100	0.5
AP_182	3.0	19.05	0.15	PM_392	17.7	100	0.5
AP_183	3.0	19.05	0.15	PM_393	2.3	100	0.5
AP_184	3.0	19.05	0.15	PM_394	10.1	100	0.5
AP_185	3.0	19.05	0.15	PM_395	12.2	100	0.5
AP_186	3.0	19.05	0.15	PM_396	64.5	100	0.5
AP_187	3.0	19.05	0.15	PM_397	22.2	100	0.5
AP_188	3.0	19.05	0.15	PM_398	5.8	100	0.5
AP_189	3.0	19.05	0.15	PM_399	25.3	100	0.5
AP_190	3.0	19.05	0.15	PM_400	30.5	100	0.5
AP_191	3.0	19.05	0.15	PM_401	6.5	100	0.5
AP_192	75.0	19.05	0.15	PM_402	6.9	100	0.5
AP_193	73.0	19.05	0.15	PM_403	7.5	100	0.5
AP_194	42.0	19.05	0.15	PM_404	13.9	100	0.5
AP_195	3.0	19.05	0.15	PM_405	30.0	100	0.5
AP_196	3.0	19.05	0.15	PM_406	6.1	19.05	0.15
AP_197	3.0	19.05	0.15	PM_407	103.7	19.05	0.15
AP_198	3.0	19.05	0.15	PM_408	78.8	12.7	0.15
AP_199	3.0	19.05	0.15	PM_409	23.2	12.7	0.15



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm	mm		m	mm	mm
AP_200	3.0	19.05	0.15	PM_410	37.0	150	0.5
AP_201	3.0	19.05	0.15	PM_411	15.1	150	0.5
AP_202	3.0	19.05	0.15	PM_412	20.8	150	0.5
AP_203	3.0	19.05	0.15	PM_413	15.7	100	0.5
AP_204	3.0	19.05	0.15	PM_414	35.5	100	0.5
AP_205	3.0	19.05	0.15	PM_415	23.8	100	0.5
AP_206	3.0	19.05	0.15	PM_416	23.4	19.05	0.15
AP_207	3.0	19.05	0.15	PM_417	47.1	19.05	0.15
AP_208	3.0	19.05	0.15	PM_418	20.8	19.05	0.15
AP_209	3.0	19.05	0.15	PM_419	12.2	19.05	0.15
AP_210	3.0	19.05	0.15	PM_420	13.4	80	0.5
AP_211	3.0	19.05	0.15	PM_421	7.0	80	0.5
AP_212	3.0	19.05	0.15	PM_422	1.9	80	0.5
AP_213	3.0	19.05	0.15	PM_423	19.7	80	0.5
AP_214	3.0	19.05	0.15	PM_424	9.2	80	0.5
AP_215	3.0	19.05	0.15	PM_425	7.2	80	0.5
AP_216	3.0	19.05	0.15	PM_426	36.9	80	0.5
AP_217	3.0	19.05	0.15	PM_427	11.8	80	0.5
AP_218	3.0	19.05	0.15	PM_428	206.7	80	0.5
AP_219	3.0	19.05	0.15	PM_429	32.1	80	0.5
AP_220	3.0	19.05	0.15	PM_430	19.5	80	0.5
AP_221	3.0	19.05	0.15	PM_431	16.4	80	0.5
AP_222	3.0	19.05	0.15	PM_432	6.7	80	0.5
AP_223	3.0	19.05	0.15	PM_433	24.8	80	0.5
AP_224	3.0	19.05	0.15	PM_434	60.0	80	0.5
AP_225	3.0	19.05	0.15	PM_435	45.3	80	0.5
AP_226	3.0	19.05	0.15	PM_436	23.4	80	0.5
AP_227	3.0	19.05	0.15	PM_437	16.5	150	0.5
AP_228	3.0	19.05	0.15	PM_438	38.2	150	0.5
AP_229	3.0	19.05	0.15	PM_439	19.4	150	0.5
AP_230	3.0	19.05	0.15	PM_440	16.7	80	0.5
AP_231	3.0	19.05	0.15	PM_441	9.8	80	0.5
AP_232	3.0	19.05	0.15	PM_442	28.7	80	0.5
AP_233	3.0	19.05	0.15	PM_443	27.5	80	0.5
AP_234	3.0	19.05	0.15	PM_444	11.0	80	0.5
AP_235	3.0	19.05	0.15	PM_445	31.3	80	0.5
AP_236	3.0	19.05	0.15	PM_446	4.6	80	0.5
AP_237	3.0	19.05	0.15	PM_447	2.4	80	0.5
AP_238	3.0	19.05	0.15	PM_448	21.1	80	0.5
AP_239	3.0	19.05	0.15	PM_449	18.0	80	0.5
AP_240	3.0	19.05	0.15	PM_450	24.0	80	0.5
AP_241	3.0	19.05	0.15	PM_451	38.5	80	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			mm	m	
AP_242	3.0	19.05	0.15	PM_452	38.1	80	0.5
AP_243	3.0	19.05	0.15	PM_453	24.8	150	0.5
AP_244	3.0	19.05	0.15	PM_454	28.3	150	0.5
AP_246	3.0	19.05	0.15	PM_455	19.1	150	0.5
AP_247	3.0	19.05	0.15	PM_456	4.5	150	0.5
AP_248	3.0	19.05	0.15	PM_457	17.7	150	0.5
AP_249	3.0	19.05	0.15	PM_458	23.3	150	0.5
AP_250	3.0	19.05	0.15	PM_459	52.8	150	0.5
AP_251	3.0	19.05	0.15	PM_460	25.7	150	0.5
AP_252	3.0	19.05	0.15	PM_461	7.7	150	0.5
AP_253	3.0	19.05	0.15	PM_462	37.1	150	0.5
AP_254	3.0	19.05	0.15	PM_463	27.5	100	0.5
AP_255	3.0	19.05	0.15	PM_464	10.4	100	0.5
AP_256	3.0	19.05	0.15	PM_465	30.7	100	0.5
AP_257	3.0	19.05	0.15	PM_466	1.4	12.7	0.15
AP_258	3.0	19.05	0.15	PM_467	106.3	12.7	0.15
AP_259	3.0	19.05	0.15	PM_468	23.8	12.7	0.15
AP_260	3.0	19.05	0.15	PM_469	23.2	12.7	0.15
AP_261	3.0	19.05	0.15	PM_470	15.4	12.7	0.15
AP_262	3.0	19.05	0.15	PM_471	36.9	150	0.5
AP_263	3.0	19.05	0.15	PM_472	26.1	150	0.5
AP_264	3.0	19.05	0.15	PM_473	75.0	150	0.5
AP_265	3.0	19.05	0.15	PM_474	38.7	150	0.5
AP_266	3.0	19.05	0.15	PM_475	26.9	150	0.5
AP_267	3.0	19.05	0.15	PM_476	17.5	150	0.5
AP_268	3.0	19.05	0.15	PM_477	26.1	150	0.5
AP_269	3.0	19.05	0.15	PM_478	4.1	150	0.5
AP_270	3.0	19.05	0.15	PM_479	19.1	150	0.5
AP_271	3.0	19.05	0.15	PM_480	31.8	19.05	0.15
AP_272	3.0	19.05	0.15	PM_481	22.5	19.05	0.15
AP_273	3.0	19.05	0.15	PM_482	31.3	19.05	0.15
AP_274	3.0	19.05	0.15	PM_483	41.1	150	0.5
AP_275	3.0	19.05	0.15	PM_484	47.1	150	0.5
AP_276	3.0	19.05	0.15	PM_485	19.1	150	0.5
AP_277	3.0	19.05	0.15	PM_486	58.2	150	0.5
AP_278	3.0	19.05	0.15	PM_487	15.1	150	0.5
AP_279	3.0	19.05	0.15	PM_488	22.4	150	0.5
AP_280	3.0	19.05	0.15	PM_489	7.5	150	0.5
AP_281	3.0	19.05	0.15	PM_490	17.3	150	0.5
AP_282	3.0	19.05	0.15	PM_491	5.4	150	0.5
AP_283	3.0	19.05	0.15	PM_492	12.2	125	0.5
AP_284	3.0	19.05	0.15	PM_493	31.6	125	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			m	mm	
AP_285	3.0	19.05	0.15	PM_494	149.4	125	0.5
AP_286	3.0	19.05	0.15	PM_495	41.1	200	0.5
AP_287	3.0	19.05	0.15	PM_496	61.6	200	0.5
AP_288	3.0	19.05	0.15	PM_497	39.5	200	0.5
AP_289	3.0	19.05	0.15	PM_498	16.0	200	0.5
AP_290	3.0	19.05	0.15	PM_499	35.3	200	0.5
AP_291	3.0	19.05	0.15	PM_500	19.8	200	0.5
AP_292	3.0	19.05	0.15	PM_501	37.7	200	0.5
AP_293	3.0	19.05	0.15	PM_502	98.9	200	0.5
AP_294	3.0	19.05	0.15	PM_503	18.9	200	0.5
AP_295	3.0	19.05	0.15	PM_504	6.4	200	0.5
AP_296	3.0	19.05	0.15	PM_505	14.0	200	0.5
AP_297	3.0	12.7	0.15	PM_506	6.8	200	0.5
AP_298	3.0	12.7	0.15	PM_507	12.0	200	0.5
AP_299	3.0	19.05	0.15	PM_508	11.0	200	0.5
AP_300	3.0	19.05	0.15	PM_509	21.4	200	0.5
AP_301	3.0	19.05	0.15	PM_510	78.0	200	0.5
AP_302	3.0	19.05	0.15	PM_511	38.8	200	0.5
AP_303	3.0	19.05	0.15	PM_512	21.7	200	0.5
AP_304	3.0	19.05	0.15	PM_513	37.1	200	0.5
AP_305	3.0	19.05	0.15	PM_514	26.5	200	0.5
AP_306	3.0	19.05	0.15	PM_515	22.9	200	0.5
AP_307	3.0	19.05	0.15	PM_516	18.3	200	0.5
AP_308	3.0	19.05	0.15	PM_517	52.4	200	0.5
AP_309	3.0	19.05	0.15	PM_518	33.2	125	0.5
AP_310	3.0	19.05	0.15	PM_519	51.4	125	0.5
AP_311	3.0	19.05	0.15	PM_520	52.6	125	0.5
AP_312	3.0	19.05	0.15	PM_521	44.5	125	0.5
AP_313	3.0	19.05	0.15	PM_522	30.8	125	0.5
AP_314	3.0	19.05	0.15	PM_523	33.7	125	0.5
AP_315	3.0	19.05	0.15	PM_524	8.1	125	0.5
AP_316	3.0	19.05	0.15	PM_525	43.4	125	0.5
AP_317	3.0	19.05	0.15	PM_526	20.5	125	0.5
AP_318	3.0	19.05	0.15	PM_527	45.3	125	0.5
AP_319	3.0	19.05	0.15	PM_528	35.9	125	0.5
AP_320	3.0	19.05	0.15	PM_529	23.5	125	0.5
AP_321	3.0	19.05	0.15	PM_530	36.7	125	0.5
AP_322	3.0	19.05	0.15	PM_531	11.6	125	0.5
AP_323	3.0	19.05	0.15	PM_532	16.4	125	0.5
AP_324	3.0	19.05	0.15	PM_533	12.2	125	0.5
AP_325	3.0	19.05	0.15	PM_534	43.0	125	0.5
AP_326	3.0	19.05	0.15	PM_535	24.5	125	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			m	mm	
AP_327	3.0	19.05	0.15	PM_536	20.9	125	0.5
AP_328	3.0	19.05	0.15	PM_537	38.1	125	0.5
AP_329	3.0	19.05	0.15	PM_538	27.6	125	0.5
AP_331	3.0	19.05	0.15	PM_539	13.2	125	0.5
AP_332	3.0	19.05	0.15	PM_540	5.0	125	0.5
AP_333	3.0	19.05	0.15	PM_541	6.4	125	0.5
AP_334	3.0	19.05	0.15	PM_542	39.7	125	0.5
AP_335	3.0	19.05	0.15	PM_543	4.2	125	0.5
AP_336	3.0	19.05	0.15	PM_544	14.3	125	0.5
AP_337	3.0	19.05	0.15	PM_545	39.7	125	0.5
AP_338	3.0	19.05	0.15	PM_546	22.1	125	0.5
AP_339	3.0	19.05	0.15	PM_547	5.9	125	0.5
AP_340	3.0	19.05	0.15	PM_548	18.5	125	0.5
AP_341	3.0	19.05	0.15	PM_549	5.0	125	0.5
AP_342	3.0	19.05	0.15	PM_550	11.1	125	0.5
AP_343	3.0	19.05	0.15	PM_551	15.5	150	0.5
AP_344	3.0	19.05	0.15	PM_552	75.8	150	0.5
AP_345	3.0	19.05	0.15	PM_553	43.8	150	0.5
AP_346	3.0	19.05	0.15	PM_554	43.1	150	0.5
AP_347	3.0	19.05	0.15	PM_555	13.8	150	0.5
AP_348	3.0	19.05	0.15	PM_556	135.7	150	0.5
AP_349	3.0	19.05	0.15	PM_557	98.6	150	0.5
AP_350	3.0	19.05	0.15	PM_558	210.0	150	0.5
AP_351	3.0	19.05	0.15	PM_559	475.0	150	0.5
AP_352	3.0	19.05	0.15	PM_560	738.6	400	0.26
AP_353	3.0	19.05	0.15	PM_561	1037.9	400	0.26
AP_354	3.0	19.05	0.15	PM_562	58.7	100	0.5
AP_355	3.0	19.05	0.15	PM_563	18.3	100	0.5
AP_356	3.0	19.05	0.15	PM_564	12.1	100	0.5
AP_357	3.0	19.05	0.15	PM_565	35.9	100	0.5
AP_358	3.0	19.05	0.15	PM_566	21.7	100	0.5
AP_359	3.0	19.05	0.15	PM_567	25.1	100	0.5
AP_360	3.0	19.05	0.15	PM_568	28.7	100	0.5
AP_361	3.0	19.05	0.15	PM_569	26.9	100	0.5
AP_362	3.0	19.05	0.15	PM_570	7.5	100	0.5
AP_363	3.0	19.05	0.15	PM_571	3.6	100	0.5
AP_364	3.0	19.05	0.15	PM_572	14.2	100	0.5
AP_365	3.0	19.05	0.15	PM_573	29.5	100	0.5
AP_366	3.0	19.05	0.15	PM_574	11.9	100	0.5
AP_367	3.0	19.05	0.15	PM_575	21.0	100	0.5
AP_368	3.0	19.05	0.15	PM_576	8.0	100	0.5
AP_369	3.0	19.05	0.15	PM_577	23.6	100	0.5



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΑΝΕΤ

Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s	Αγωγός	Μήκος	Διάμετρος	k_s
	m	mm			m	mm	
AP_370	3.0	19.05	0.15	PM_578	33.9	100	0.5
AP_371	3.0	19.05	0.15	PM_579	43.7	100	0.5
AP_372	28.4	19.05	0.15				
AP_373	41.6	19.05	0.15				
AP_374	3.0	19.05	0.15				
AP_375	3.0	19.05	0.15				