



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



Εντοπισμός διαρροών και προτάσεις μείωσης του Μη Ανταποδοτικού Νερού στο δίκτυο ύδρευσης της Παλιάς Πόλης του Ηρακλείου

Μπούλα Αικατερίνα Γεωργία

Επιβλέπων καθηγητής
Παπαευθυμίου Σπυρίδων

Χανιά, Ιούλιος 2025

Περίληψη

Το μη τιμολογούμενο ή μη ανταποδοτικό νερό είναι η διαφορά μεταξύ της ποσότητας νερού που εισέρχεται στο δίκτυο και της ποσότητας που καταγράφεται και χρεώνεται στους καταναλωτές. Δημιουργείται από την μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση, τα σφάλματα των μετρητών και των μετρήσεων και τις διαρροές και τις βλάβες στο δίκτυο ύδρευσης. Παγκοσμίως τα ποσοστά του μη τιμολογούμενου νερού που εμφανίζονται είναι μεγάλα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το υδατικό δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου και πραγματοποιήθηκε ανίχνευση διαρροών με χρήση των λογισμικών WaterCAD και WaterGEMS.

Δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά pattern κατανάλωσης, ένα σταθερό, ένα μεταβλητό και ένα βηματικό. Για καθένα από αυτά παρουσιάστηκαν η λειτουργία των δεξαμενών και οι μεταβολές της πίεσης και της υδραυλικής κλίσης των υδρομέτρων, καθώς και της ροής των αγωγών και παρατηρήθηκε η επίδραση των pattern στις τιμές τους. Το δίκτυο λειτούργησε ικανοποιητικά και για τα τρία pattern, χωρίς να εμφανίσει προβλήματα υποπίεσης ή υπερπίεσης. Επιπλέον, μέσω του εργαλείου Darwin Calibrator του WaterGEMS, παρουσιάστηκε η διαδικασία ανίχνευσης διαρροών του δικτύου με χρήση του μεταβαλλόμενου pattern κατανάλωσης. Καθώς χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που προέκυψαν από την προσομοίωση, και όχι πραγματικές μετρήσεις, τα αποτελέσματα για τις θέσεις των πιθανών διαρροών δεν είναι αξιόπιστα. Τέλος, έγιναν κάποιες προτάσεις για την μείωση των διαρροών του δικτύου, που θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του μη τιμολογούμενου νερού στην παλιά πόλη του Ηρακλείου.

Abstract

Non-revenue water is the difference between the amount of water entering the network and the amount of water recorded and charged to consumers. It is created by unauthorized consumption, meter and measurement errors and leaks and damages to the water supply network. This thesis analyzed the water network of the old town of Heraklion and detected leaks using WaterCAD and WaterGEMS software.

Three different consumption patterns were created; one constant, one variable, and one stepwise. For each of these, the functioning of the tanks and the changes in pressure and hydraulic grade of the junctions, as well as the flow of the pipes, were presented and the impact of the patterns on their values was observed. For all three patterns, the network performed adequately and showed no signs of underpressure or overpressure issues. Additionally, the method of detecting network leaks using the changing consumption pattern was demonstrated using WaterGEMS' Darwin Calibrator. The results for the locations of potential leaks are unreliable because the simulation's data was used instead of real measurements. Lastly, some recommendations were made to lessen network leakage, which would lower the amount of non-revenue water in the old town of Heraklion.

Περιεχόμενα

1	Το μη τιμολογούμενο νερό στην παλιά πόλη του Ηρακλείου.....	7
1.1	Εισαγωγή	7
1.2	Η πόλη του Ηρακλείου	9
1.3	Το δίκτυο ύδρευσης.....	9
1.4	Το πρόβλημα του μη τιμολογούμενου νερού.....	10
2	Μελέτη δικτύου στα λογισμικά WaterCAD και WaterGEMS.....	12
2.1	Το λογισμικό WaterCAD	12
2.2	Το λογισμικό WaterGEMS.....	12
2.3	Παρουσίαση του δικτύου στα λογισμικά WaterCAD και WaterGEMS.....	14
2.3.1	Αποτελέσματα για το pattern 2	19
2.3.2	Αποτελέσματα για το pattern 2.1	26
2.3.3	Αποτελέσματα για το pattern 2.2	34
2.4	Εντοπισμός διαρροών με χρήση του WaterGEMS	42
3	Συμπεράσματα και προτεινόμενες λύσεις.....	46
3.1	Συμπεράσματα	46
3.2	Προτεινόμενες λύσεις.....	48

Λίστα πινάκων

Πίνακας 1.1: Διεθνές υδατικό ισοζύγιο (IWA)	7
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά δεξαμενών PTM και D4	15
Πίνακας 2.2: Πολλαπλασιαστές pattern 2.....	16
Πίνακας 2.3: Πολλαπλασιαστές pattern 2.1	17
Πίνακας 2.4: Πολλαπλασιαστές pattern 2.2.....	17
Πίνακας 2.5: Κλίμακα ζήτησης	18
Πίνακας 2.6: Κλίμακα Πίεσης.....	18
Πίνακας 2.7: Κλίμακα Ροής	18
Πίνακας 2.8: Κλίμακα συντελεστή εκπομπών	42
Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα pattern 2.....	46
Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα pattern 2.1	47
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα pattern 2.2	47

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1.1: Χάρτης της πόλης του Ηρακλείου [5].	9
Εικόνα 1.2: Η τεχνητή λίμνη του Φράγματος Αποσελέμη (αριστερά) και η Μονάδα Επεξεργασίας Νερού του Αποσελέμη (δεξιά) [7].	10
Εικόνα 2.1: Πληροφορίες WaterCAD και WaterGEMS.....	14
Εικόνα 2.2: Υδατικό δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου στο WaterGEMS.....	14
Εικόνα 2.3: Μεταβολές πίεσης και ροής	25
Εικόνα 2.4: Μεταβολή ζήτησης.....	26
Εικόνα 2.5: Μεταβολές πίεσης και ροής	33
Εικόνα 2.6: Μεταβολές ζήτησης.....	34
Εικόνα 2.7: Μεταβολές πίεσης και ροής	41
Εικόνα 2.8: Μεταβολές ζήτησης.....	42
Εικόνα 2.9: Πιθανοί κόμβοι διαρροών στις 3 ώρες	43
Εικόνα 2.10: Πιθανοί κόμβοι διαρροών στις 28 ώρες	44
Εικόνα 2.11: Πιθανοί κόμβοι διαρροών στις 53 ώρες	45

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Πολλαπλασιαστές pattern 2	16
Διάγραμμα 2.2: Πολλαπλασιαστές pattern 2.1	17
Διάγραμμα 2.3: Πολλαπλασιαστές pattern 2.2	18
Διάγραμμα 2.4: Ζητούμενη ροή	19
Διάγραμμα 2.5: Παρεχόμενη ροή	19
Διάγραμμα 2.6: Αποθηκευμένη ροή.....	19
Διάγραμμα 2.7: Δεξαμενή PTM	20
Διάγραμμα 2.8: Δεξαμενή D4	21
Διάγραμμα 2.9: Υδρόμετρο 2100.0660	22
Διάγραμμα 2.10: Υδρόμετρο 1470.0190	23
Διάγραμμα 2.11: Υδρόμετρο 0390.0080	23
Διάγραμμα 2.12: Υδρόμετρο 2960.0693	24
Διάγραμμα 2.13: Ροή αγωγών	25
Διάγραμμα 2.14: Ζητούμενη ροή	26
Διάγραμμα 2.15: Παρεχόμενη ροή	27
Διάγραμμα 2.16: Αποθηκευμένη ροή.....	27
Διάγραμμα 2.17: Δεξαμενή PTM	28
Διάγραμμα 2.18: Δεξαμενή D4.....	29
Διάγραμμα 2.19: Υδρόμετρο 2100.0660	30
Διάγραμμα 2.20: Υδρόμετρο 1470.0190	31
Διάγραμμα 2.21: Υδρόμετρο 0390.0080	31
Διάγραμμα 2.22: Υδρόμετρο 2960.0693	32
Διάγραμμα 2.23: Ροή αγωγών	33
Διάγραμμα 2.24: Ζητούμενη ροή	35
Διάγραμμα 2.25: Παρεχόμενη ροή	35
Διάγραμμα 2.26: Αποθηκευμένη ροή.....	35
Διάγραμμα 2.27: Δεξαμενή PTM	36
Διάγραμμα 2.28: Δεξαμενή D4.....	37
Διάγραμμα 2.29: Υδρόμετρο 2100.0660	37
Διάγραμμα 2.30: Υδρόμετρο 1470.0190	38
Διάγραμμα 2.31: Υδρόμετρο 0390.0080	39
Διάγραμμα 2.32: Υδρόμετρο 2960.0693	39
Διάγραμμα 2.33: Ροή αγωγών	40

1 Το μη τιμολογούμενο νερό στην παλιά πόλη του Ηρακλείου

1.1 Εισαγωγή

Το μη τιμολογούμενο νερό είναι η διαφορά μεταξύ της ποσότητας νερού που εισέρχεται στο δίκτυο και της ποσότητας που καταγράφεται και χρεώνεται στους καταναλωτές. Ο παγκόσμιος οργανισμός International Water Association (IWA) δημιούργησε το διεθνές πρότυπο υδατικού ισοζυγίου, το οποίο παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1. Σύμφωνα με αυτό το μη τιμολογούμενο νερό δημιουργείται από την μη τιμολογούμενη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση, τις φαινόμενες απώλειες νερού και τις πραγματικές απώλειες νερού.

Πίνακας 1.1: Διεθνές υδατικό ισοζύγιο (IWA)

Εισερχόμενο Νερό στο Δίκτυο	Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Ανταποδοτικό Νερό	
			Τιμολογούμενη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση		
		Απώλειες Νερού	Μη Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Μη Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Μη Ανταποδοτικό Νερό (NRW)
				Μη Τιμολογούμενη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση	
	Φαινόμενες Απώλειες Νερού		Μη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση		
		Σφάλματα Μετρητών/Μετρήσεων			
	Πραγματικές Απώλειες Νερού (Διαρροές)				

Η μη τιμολογούμενη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση είναι τα στοιχεία της εγκεκριμένης κατανάλωσης που αποτελούν νόμιμη χρήση, αλλά δεν τιμολογούνται και συνεπώς δεν παράγουν έσοδα. Μπορεί να ερμηνευτεί και ως το σύνολο των δύο ακόλουθων παραμέτρων:

- Μη τιμολογούμενη μετρούμενη κατανάλωση, η οποία είναι η μετρούμενη κατανάλωση που για οποιονδήποτε λόγο δεν τιμολογείται. Μπορεί να περιλαμβάνει

καταναλώσεις που χρησιμοποιούνται για δημόσιες κρήνες, νερό που παρέχεται δωρεάν σε φορείς, κοινωφελή ιδρύματα ή δομές.

- Μη τιμολογούμενη μη μετρούμενη κατανάλωση, η οποία περιλαμβάνει οποιαδήποτε επιτρεπόμενη χρήση που δεν τιμολογείται ούτε μπορεί να μετρηθεί. Στην παράμετρο αυτή συμπεριλαμβάνονται καταναλώσεις για πυρόσβεση, για καθαρισμό αγωγών ύδρευσης, υπονόμων και δεξαμενών, προστασία από τον παγετό κ.α.

Οι φαινόμενες απώλειες νερού αποτελούνται από την μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση και τα σφάλματα των μετρητών και των μετρήσεων. Η μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση περιλαμβάνει κάθε είδους κλοπή και παράνομη χρήση νερού, όπως παράνομες συνδέσεις, παρακάμψεις των μετρητών και παράνομη χρήση των πυροσβεστικών κρουνών. Τα σφάλματα των μετρητών και των μετρήσεων περιλαμβάνουν εσφαλμένες μετρήσεις, ανακριβείς μετρήσεις για τους μη λειτουργικούς μετρητές και λάθη λόγω υπομέτρησης των μετρητών.

Οι πραγματικές απώλειες νερού είναι οι ετήσιοι όγκοι νερού που χάνονται μέσω διάφορων τύπων διαρροών και βλαβών του δικτύου που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Διαρροές και υπερχειλίση δεξαμενών αποθήκευσης λόγω λειτουργικών ή τεχνικών προβλημάτων.
- Διαρροές και θραύσεις που παρουσιάζονται στις σωλήνες από το σημείο υδροληψίας μέχρι το σημείο παροχής.
- Διαρροές και θραύσεις σε αγωγούς μεταφοράς και διανομής [1], [2].

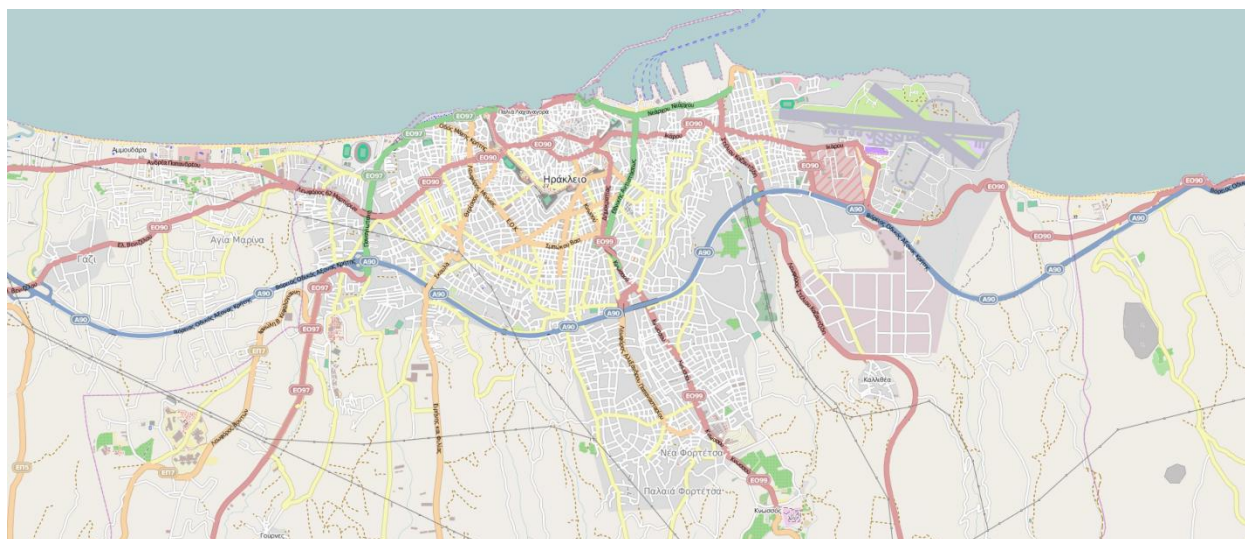
Σε αυτή την εργασία με χρήση των λογισμικών WaterCAD και WaterGEMS της Bentley γίνεται ανίχνευση των διαρροών στο δίκτυο ύδρευσης της παλιάς πόλης του Ηρακλείου. Παρουσιάζονται τα δύο λογισμικά στα οποία εισάγεται το δίκτυο ύδρευσης με όλες τις παραμέτρους για τις δεξαμενές από όπου προέρχεται το νερό το οποίο καταλήγει στο δίκτυο, τις πιέσεις στους κόμβους και τις σωλήνες, οι καταναλώσεις, οι εισροές και οι εκροές. Αρχικά, γίνεται υπολογισμός της ζήτησης του δικτύου και στα δύο λογισμικά και παρουσιάζονται πως αλλάζουν η ροή στις σωλήνες και η ζήτηση στους κόμβους για διάρκεια 72 ωρών.

Για τον εντοπισμό των διαρροών στο δίκτυο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό WaterGEMS και μέσω του εργαλείου Darwin Calibrator υπολογίστηκαν και παρουσιάστηκαν οι κόμβοι που υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανίσουν διαρροή, άρα να συμβάλουν στην αύξηση του μη ανταποδοτικού νερού.

Τέλος, παρουσιάζονται προτάσεις για την καλύτερη ανίχνευση και μείωση των διαρροών που θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ποσότητας του μη ανταποδοτικού νερού στο δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου.

1.2 Η πόλη του Ηρακλείου

Το Ηράκλειο είναι η πρωτεύουσα της Κρήτης και της Περιφερειακής Ενότητας Ηρακλείου. Βρίσκεται στα βόρεια παράλια της κεντρικής Κρήτης, στον κόλπο του Ηρακλείου, και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη χαμηλών λόφων στα παράλια και στα ανατολικά, ενώ στα ανατολικά, λόγω του ποταμού Γιόφυρου, παρατηρείται πιο ήπιο ανάγλυφο. Στην νότια πλευρά της πόλης βρίσκεται η πεδιάδα του Ηρακλείου, η οποία χωρίζεται από το όρος Γιούχτας. Ο Δήμος Ηρακλείου αποτελείται, σύμφωνα με την απογραφή του 2021, από 179,302 κατοίκους και είναι ο τέταρτος πολυπληθέστερος της χώρας. Ο πληθυσμός της Δημοτικής Ενότητας Ηρακλείου ανέρχεται στους 156,842 κατοίκους. Κατέχει στρατηγική γεωπολιτική θέση στην νοτιοανατολική Μεσόγειο, καθώς συνδέει τρεις ηπείρους. Πρόκειται για μία ιστορική πόλη καθώς υπάρχουν αναφορές της από την αρχαιότητα και έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ελληνική ιστορία σε διάφορες χρονικές περιόδους [3], [4].



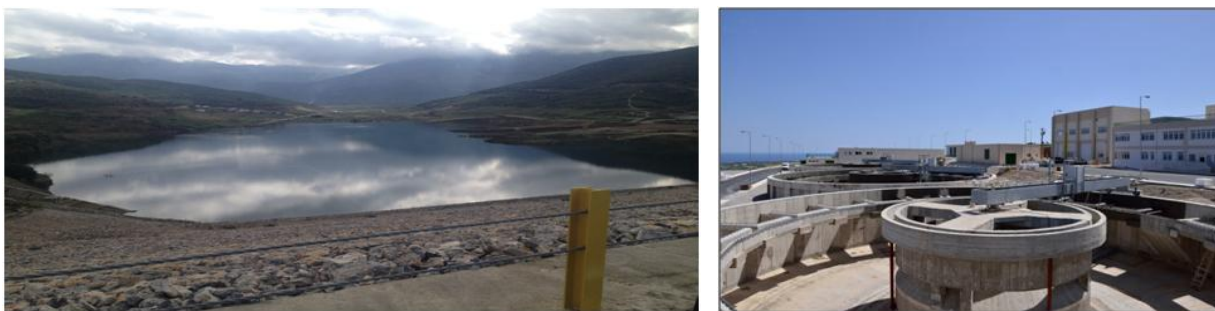
Εικόνα 1.1: Χάρτης της πόλης του Ηρακλείου [5].

1.3 Το δίκτυο ύδρευσης

Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης του Ηρακλείου διαχειρίζεται η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Ηρακλείου (Δ.Ε.Υ.Α.Η.), η οποία ιδρύθηκε το 1983 και έχει ως σκοπό την μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία των δικτύων Ύδρευσης και Αποχέτευσης, Ακαθάρτων και Ομβρίων καθώς και Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της περιοχής του Ηρακλείου, όπως ορίζει ο Ν. 1069/80 [6].

Το Ηράκλειο υδροδοτείται από το φράγμα Αποσελέμη, τμήμα του οποίου φαίνεται στην Εικόνα 1.2. Αγωγός μεταφοράς νερού μήκους 7,130 m ξεκινά από τον ταμιευτήρα Αποσελέμη μέχρι την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού δυναμικότητας 110,600 m³ νερού την ημέρα.

Στην συνέχεια μέσω του υδραγωγείου παρέχεται στην πόλη του Ηρακλείου η απαραίτητη ποσότητα νερού. Το υδραγωγείο έχει μήκος περίπου 74 km, καθώς υδροδοτεί τις πόλεις του Ηρακλείου και του Αγίου Νικολάου και επιπλέον 6 Δήμους και 19 οικισμούς κατά μήκος του άξονα Λινοπεράσματα – Ηράκλειο – Χερσόνησος – Όρια Νομών Ηρακλείου και Λασιθίου – Νεάπολη – Άγιος Νικόλαος – Ελούντα. Στην περιοχή του Ηρακλείου συνδέεται με τις δεξαμενές Δ7, Δ3Α και Δ4 της ΔΕΥΑ Ηρακλείου. Η υδροδότηση της περιοχής επηρεάζεται από τις καταναλώσεις, καθώς οι μεγάλες καταναλώσεις έχουν ως αποτέλεσμα την χαμηλή πίεση στο δίκτυο ύδρευσης, και το ανάγλυφο του εδάφους, διότι στα υψόμετρα παρατηρείται καθυστέρηση του χρόνου υδροδότησης [7].



Εικόνα 1.2: Η τεχνητή λίμνη του Φράγματος Αποσελέμη (αριστερά) και η Μονάδα Επεξεργασίας Νερού του Αποσελέμη (δεξιά) [7].

1.4 Το πρόβλημα του μη τιμολογούμενου νερού

Το πρόβλημα των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης είναι παγκόσμιο και χρήζει άμεσης αντιμετώπισης, καθώς δυσκολεύει την διατήρηση των υδάτινων πόρων ειδικά σε περιοχές όπου παρουσιάζεται λειψυδρία. Έρευνα της Παγκόσμιας Τράπεζας (World Bank) εκτιμά ότι κάθε χρόνο χάνονται παγκοσμίως περίπου 32 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού, τα μισά από τα οποία αντιστοιχούν στις αναπτυσσόμενες χώρες. Εάν οι απώλειες νερού των αναπτυσσόμενων χωρών μειωθεί στο μισό, το νερό που θα εξοικονομηθεί θα είναι αρκετό ώστε να τροφοδοτηθούν περίπου 90 εκατομμύρια άνθρωποι. Η αυξανόμενη αστικοποίηση και ζήτηση νερού καθώς και η παλαιότητα των δικτύων ύδρευσης συμβάλει στην αύξηση του μη ανταποδοτικού νερού. Το μεγάλο ποσοστό μη ανταποδοτικού νερού έχει και οικονομικές επιπτώσεις στις επιχειρήσεις ύδρευσης λόγω της απώλειας εσόδων και των υψηλών λειτουργικών δαπανών. Ως αποτέλεσμα, αναγκαίες αναβαθμίσεις υπηρεσιών, σωστή συντήρηση των δικτύων αλλά και επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν, καθώς δεν υπάρχει η απαραίτητη χρηματοδότηση. Τα υψηλά επίπεδα απωλειών νερού αντιπροσωπεύουν, επίσης, προβλήματα στις εγκαταστάσεις και παράνομη χρήση του νερού, όπου γίνεται κατανάλωση του νερού χωρίς μέτρηση της ποσότητας και τιμολόγησης αυτής [8], [9], [10].

Στην περιφέρεια Κρήτης, και συγκεκριμένα στην πόλη του Ηρακλείου, η παλαιότητα των δικτύων και η έλλειψη του απαραίτητου τεχνολογικού εξοπλισμού, οδηγούν σε αυξημένες απώλειες νερού. Επιπλέον, η αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου λειψυδρίας σε συνδυασμό με την υπεράντληση του υδροφόρου ορίζοντα και την καταστροφή του υπεδάφους εντείνουν το πρόβλημα των απωλειών νερού. Η μειωμένη βροχόπτωση που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια έχει ως αποτέλεσμα την πτώση στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, την μείωση της παροχής των πηγών και την μείωση του διαθέσιμου νερού στο φράγμα Αποσελέμη. Οι παραπάνω λόγοι έχουν συντελέσει ώστε το ποσοστό του μη ανταποδοτικού νερού στο Ηράκλειο, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΥΑΗ για το 2021, να ανέρχεται στο 50% [11], [12].

2 Μελέτη δικτύου στα λογισμικά WaterCAD και WaterGEMS

2.1 Το λογισμικό WaterCAD

Το WaterCAD είναι ένα λογισμικό της Bentley για υδραυλική μοντελοποίηση και μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού σε συστήματα διανομής νερού. Έχει την δυνατότητα να εκτελέσει μια σειρά λειτουργιών, όπως:

- προσομοιώσεις σταθερής κατάστασης και παρατεταμένης περιόδου δικτύων πίεσης με διάφορες παραμέτρους όπως αντλίες, δεξαμενές και βαλβίδες ελέγχου
- υδραυλικές αναλύσεις
- δημιουργία και σύγκριση πολλαπλών σεναρίων
- αυτοματοποιημένες μελέτες πυροσβεστικής ροής
- μελέτες καθαρισμού των σωλήνων ύδρευσης
- ανάλυση ζωνών πίεσης
- ανάλυση ποιότητας νερού
- ανάλυση ενεργειακού κόστους
- χρήση των Darwin Calibrator και Darwin Scheduler με χειροκίνητη προσαρμογή των παραμέτρων [13], [14].

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιείται η εκπαιδευτική έκδοση Bentley OpenFlows WaterCAD 2024, η οποία παρέχει όλες τις δυνατότητες του WaterCAD (Εικόνα 2.1 (α)).

2.2 Το λογισμικό WaterGEMS

Το WaterGEMS είναι ένα λογισμικό υδραυλικής μοντελοποίησης της Bentley με το οποίο μπορούν να σχεδιαστούν και να βελτιστοποιηθούν συστήματα διανομής νερού. Περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες του WaterCAD και του έχουν προστεθεί και άλλες δυνατότητες, ώστε να μπορεί να ανταπεξέρθει σε πιο περίπλοκα συστήματα και καταστάσεις. Η ενσωμάτωσή του με εφαρμογές GIS το καθιστά ένα πολύ σημαντικό εργαλείο μοντελοποίησης, καθώς μπορεί να δημιουργήσει, να επεξεργαστεί και να χαρτογραφήσει μοντέλα νερού από το περιβάλλον GIS και να παρουσιάσει τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων ως χάρτες GIS. Κάποιες από τις επιπλέον λειτουργίες του WaterGEMS είναι οι εξής:

- Pipe Renewal Planner: εργαλείο που κατατάσσει τους σωλήνες με βάση την απόδοση τους (χωρητικότητα, ιστορικό θραύσεων, κρίσιμα τμήματα) και, προαιρετικά, ιδιότητες όπως το υλικό, η τοποθεσία και το έτος κατασκευής τους, ώστε να βρεθούν

οι σωλήνες που έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα για κάποια φθορά και να παρακολουθούνται για επισκευές.

- Darwin Designer: εκτελεί αυτόματους ή χειροκίνητους σχεδιασμούς με την εισαγωγή υδραυλικών περιορισμών, επιτρεπόμενων μεγεθών σωλήνων και σχετικών μονάδων κόστους. Η δυνατότητα του αυτόματου σχεδιασμού στο WaterGEMS (σε αντίθεση με το WaterCAD που υπάρχει μόνο η χειροκίνητη), επιτυγχάνεται με την χρήση γενετικού αλγορίθμου, ο οποίος αξιολογεί διάφορες στρατηγικές σχεδιασμού και αποκατάστασης βλαβών βασισμένος στην επίτευξη της ελαχιστοποίησης του κόστους ή της μεγιστοποίησης του οφέλους ή πολλαπλών στόχων.
- Darwin Calibrator: βελτιστοποιεί τις τιμές για οποιονδήποτε συνδυασμό παραμέτρων του μοντέλου, όπως την τραχύτητα των σωλήνων, την ζήτηση των κόμβων και την ροή των σωλήνων, ώστε να επιτύχει την καλύτερη δυνατή προσέγγιση των πραγματικών τιμών του υδραυλικού συστήματος. Χρησιμοποιώντας γενετικό αλγόριθμο, έχει την ικανότητα να ανιχνεύσει τις περιοχές του δικτύου όπου υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης διαρροής.
- Darwin Scheduler: εκτελεί μελέτες βελτιστοποίησης του προγραμματισμού αντλιών, βρίσκει, δηλαδή, τις βέλτιστες λειτουργίες για αντλίες σταθερή ή μεταβλητής ταχύτητας και βελτιστοποιεί τις αντλίες ώστε να μειωθεί η ενέργεια που καταναλώνεται στο σύστημα και το κόστος λειτουργίας τους.
- Skelebrator: αφαιρεί την πολυπλοκότητα του δικτύου, διατηρώντας την συνδεσιμότητα, την υδραυλική ισοδυναμία και ανακατανέμοντας τις εκχωρημένες απαιτήσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν επιλεγεί.
- SCADAConnect: συνδέει τα δεδομένα SCADA απευθείας στο μοντέλο για διαβαθμιστεί εύκολα ένας απεριόριστος αριθμός σημάτων με βάση τις πραγματικές συνθήκες, να εφαρμοστούν αρχικές πραγματικές συνθήκες ή να υπολογιστεί η ζήτηση με βάσει τις καταγεγραμμένες ταχύτητες ροής SCADA [15], [16], [17].

Η έκδοση του WaterGEMS που χρησιμοποιήθηκε είναι η εκπαιδευτική έκδοση της Bentley Educational, Bentley OpenFlows WaterGEMS 2024 (Εικόνα 2.1 (β)). Η έκδοση αυτή παρέχει όλες τις δυνατότητες του WaterGEMS.



(α) WaterCAD



(β) WaterGEMS

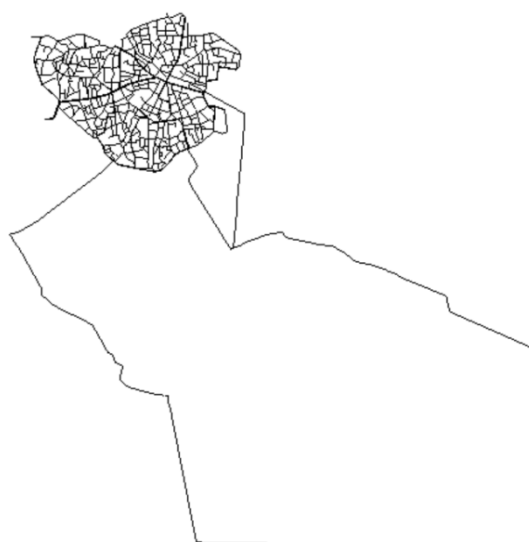
Εικόνα 2.1: Πληροφορίες WaterCAD και WaterGEMS

2.3 Παρουσίαση του δικτύου στα λογισμικά WaterCAD και WaterGEMS

Στα λογισμικά WaterCAD και WaterGEMS μελετήθηκε το υδατικό δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου το οποίο είχε δημιουργηθεί στο λογισμικό EPANET. Τα δύο λογισμικά παρουσίασαν τα ίδια αποτελέσματα, με το WaterGEMS να εκτελεί πιο γρήγορα την προσομοίωση σε σχέση με το WaterCAD.

Το συγκεκριμένο δίκτυο ύδρευσης είναι βαρυτικό, λειτουργεί δηλαδή χωρίς την χρήση αντλιών και η ροή του νερού επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς υψομέτρου μεταξύ των σημείων παροχής και των σημείων κατανάλωσης.

Το δίκτυο, το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2, αποτελείται από δύο δεξαμενές (Tanks), δύο ρεζερβουάρ (Reservoirs) και 5791 κόμβους (Junctions) από τους οποίους οι 3292 είναι υδρόμετρα και οι υπόλοιποι 2499 είναι απλοί κόμβοι σύνδεσης.



Εικόνα 2.2: Υδατικό δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου στο WaterGEMS

Τα δύο ρεζερβουάρ εμφανίζονται με τις ονομασίες 13 και 754 και τροφοδοτούν τις δύο δεξαμενές με ονομασίες PTM και D4. Το ρεζερβουάρ 13 βρίσκεται σε υψόμετρο 130m και συνδέεται με την δεξαμενή D4 μέσω του αγωγού 56, ενώ το ρεζερβουάρ 754 βρίσκεται σε υψόμετρο 160m και είναι συνδεδεμένο με την δεξαμενή PTM μέσω του αγωγού 121. Τα χαρακτηριστικά των δύο δεξαμενών εμφανίζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά δεξαμενών PTM και D4

	D4	PTM
Διάμετρος (m)	40	40
Υψόμετρο βάσης (m)	102.5	70
Ελάχιστο υψόμετρο στάθμης (m)	102.5	70
Αρχικό υψόμετρο στάθμης (m)	107.5	75
Μέγιστο υψόμετρο στάθμη (m)	108.5	76

Για την λειτουργία των δεξαμενών έχουν δημιουργηθεί τέσσερις κανόνες, οι οποίοι βασίζονται στις στάθμες των δεξαμενών και ρυθμίζουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των αγωγών που συνδέουν τις δεξαμενές με τα ρεζερβουάρ ως εξής:

- Όταν η στάθμη της δεξαμενής PTM είναι μεγαλύτερη από 5m, τότε ο αγωγός 121 κλείνει.
- Όταν η στάθμη της δεξαμενής PTM είναι μικρότερη από 1m, τότε ο αγωγός 121 ανοίγει.
- Όταν η στάθμη της δεξαμενής D4 είναι μεγαλύτερη από 5m, τότε ο αγωγός 56 κλείνει.
- Όταν η στάθμη της δεξαμενής D4 είναι μικρότερη από 1m, τότε ο αγωγός 56 ανοίγει.

Στους κόμβους εφαρμόζονται patterns τα οποία χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν την μεταβολή της ζήτησης νερού ανά ώρα, ανά μέρα και ανά μήνα. Για να επιτευχθεί αυτό ορίζονται οι τιμές του πολλαπλασιαστή (Multiplier) για κάθε χρονική περίοδο που έχει οριστεί. Πολλαπλασιάζοντας την βασική ζήτηση (base demand) με τους πολλαπλασιαστές του pattern που έχει εφαρμοστεί προκύπτει η τελική ζήτηση νερού για κάθε κόμβο του δικτύου. Για τους απλούς κόμβους σύνδεσης έχει οριστεί το pattern 1 με multiplier ίσο με μηδέν σε όλες τις ώρες, ώστε η ζήτηση να διατηρείται μηδενική σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Για τα υδρόμετρα έχει οριστεί σταθερή βασική ζήτηση (base demand) 720 L/day και θα μελετηθούν τρία διαφορετικά patterns τα οποία επηρεάζουν την ζήτηση του δικτύου. Και στις τρεις περιπτώσεις που θα μελετήσουμε οι ημερήσιοι και οι μηνιαίοι πολλαπλασιαστές είναι ίσοι με 1 (Multiplier = 1), ώστε η ζήτηση να επηρεάζεται μόνο από την ωριαία μεταβολή.

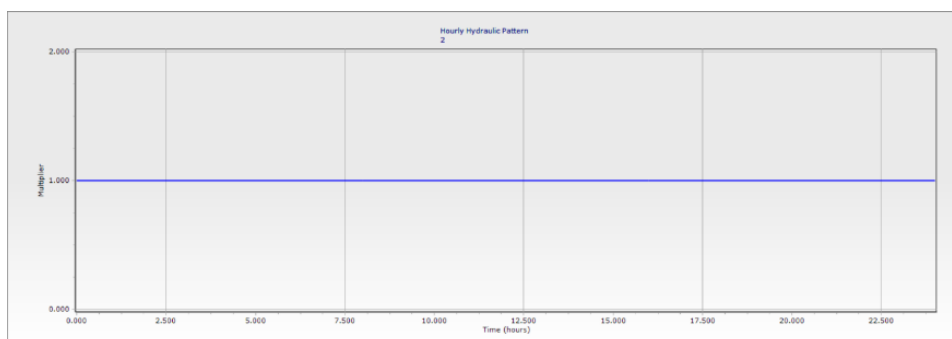
Τα patterns που έχουν δημιουργηθεί για τα υδρόμετρα είναι τα 2, 2.1, 2.2 και παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια καθώς και θα αποτελέσματα που προκύπτουν για καθένα από αυτά.

- Pattern 2

Το pattern 2 απεικονίζει μια σταθερή ημερήσια κατανάλωση νερού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2 και στο Διάγραμμα 2.1, καθώς έχει σταθερή τιμή του πολλαπλασιαστή ίση με 1 για όλες τις ώρες της ημέρας. Με την χρήση αυτού του pattern αξιολογείται η απόδοση του δικτύου υπό συνθήκες σταθερής ζήτησης και παρατηρείται το πως ανταποκρίνονται οι δεξαμενές, οι αγωγοί και οι κόμβοι ακολουθώντας τους κανόνες που έχουν δημιουργηθεί χωρίς να επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της ζήτησης.

Πίνακας 2.2: Πολλαπλασιαστές pattern 2

Time from Start (hours)	Multiplier
0	1.000
8	1.000
16	1.000
24	1.000



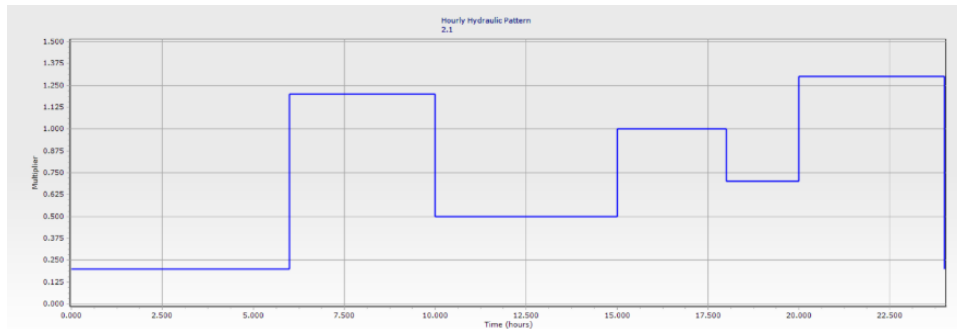
Διάγραμμα 2.1: Πολλαπλασιαστές pattern 2

- Pattern 2.1

Το pattern 2.1 παρουσιάζει μία πιθανή ημερήσια ζήτηση. Οι ωριαίες μεταβολές στις τιμές των πολλαπλασιαστών, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3 και στο Διάγραμμα 2.2, αποτυπώνουν τις μεταβολές της ζήτησης κατά την διάρκεια μίας ημέρας και προσομοιώνουν περιόδους χαμηλής και υψηλής ζήτησης. Με το συγκεκριμένο pattern αξιολογείται το πως ανταποκρίνεται το δίκτυο σε ένα ρεαλιστικό σενάριο ημερήσιας κατανάλωσης, δηλαδή παρατηρούνται οι μεταβολές στην στάθμη των δεξαμενών, τους κόμβους και τους αγωγούς κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Πίνακας 2.3: Πολλαπλασιαστές pattern 2.1

Time from Start (hours)	Multiplier
0	0.200
6	1.200
10	0.500
15	1.000
18	0.700
20	1.300
24	0.200



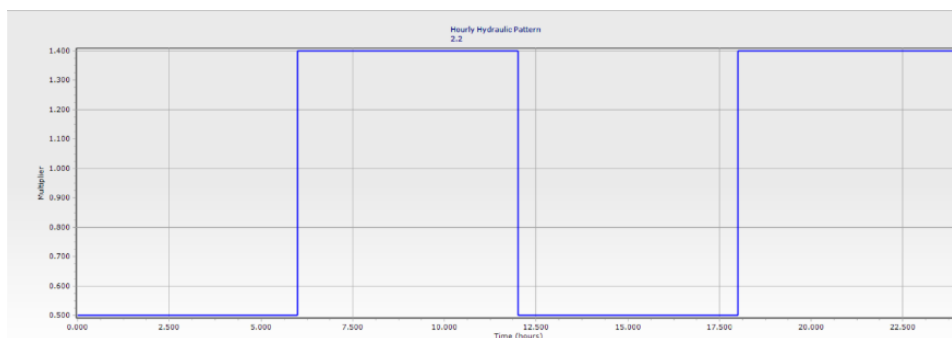
Διάγραμμα 2.2: Πολλαπλασιαστές pattern 2.1

- Pattern 2.2

Το pattern 2.2, που παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.4 και στο Διάγραμμα 2.3, είναι ένα βηματικό pattern, το οποίο ανά έξι ώρες εναλλάσσει τον πολλαπλασιαστή μεταξύ δύο τιμών. Από τις 12 το βράδυ μέχρι τις 6 το πρωί και από τις 12 το μεσημέρι μέχρι τις 6 το απόγευμα ο πολλαπλασιαστής ισούται με 0.5, προσομοιώνοντας μια περίοδο χαμηλής ζήτησης. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας, όπου προσομοιώνεται περίοδος υψηλής ζήτησης, η τιμή του πολλαπλασιαστή ισούται με 1.4. Με αυτό το pattern παρατηρείται το πως επηρεάζονται οι δεξαμενές, οι κόμβοι και οι αγωγοί όταν η ζήτηση αυξάνεται ή μειώνεται απότομα.

Πίνακας 2.4: Πολλαπλασιαστές pattern 2.2

Time from Start (hours)	Multiplier
0	0.500
6	1.400
12	0.500
18	1.400
24	0.500



Διάγραμμα 2.3: Πολλαπλασιαστές pattern 2.2

Η προσομοίωση του δικτύου τρέχει και για τα τρία patterns για 72 ώρες και για την καλύτερη απεικόνιση των διακυμάνσεων της ζήτησης και της πίεσης στους κόμβους, καθώς και της ροής στους αγωγούς, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω κλίμακες.

Πίνακας 2.5: Κλίμακα ζήτησης

Τιμή <= (L/min)	Χρώμα
0.00	Black
0.20	Light Pink
0.40	Medium Pink
0.60	Dark Pink
0.80	Dark Purple
Μεγαλύτερες τιμές	Red

Πίνακας 2.6: Κλίμακα Πίεσης

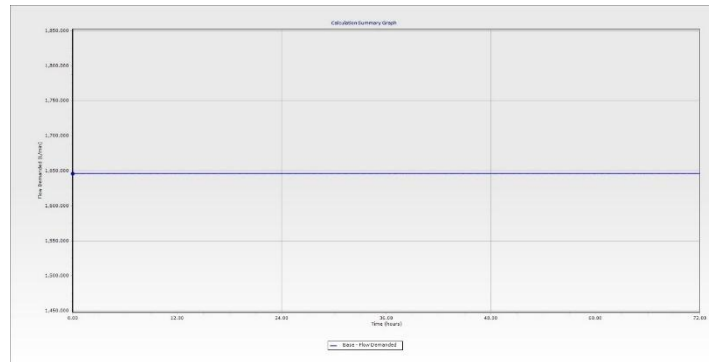
Τιμή <= (kPa)	Χρώμα
150	Blue
300	Green
450	Yellow
600	Orange
Μεγαλύτερες τιμές	Red

Πίνακας 2.7: Κλίμακα Ροής

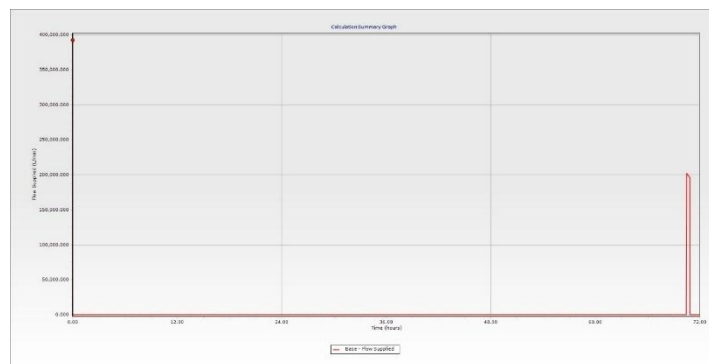
Τιμή <= (L/min)	Χρώμα
25	Light Blue
50	Medium Blue
75	Dark Blue
100	Very Dark Blue
500	Dark Blue
Μεγαλύτερες τιμές	Dark Blue

2.3.1 Αποτελέσματα για το pattern 2

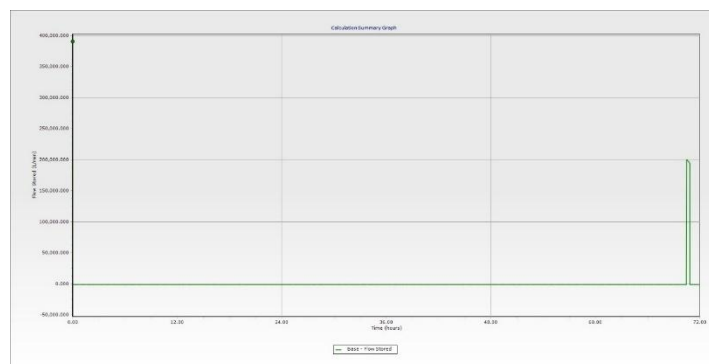
Εφαρμόζοντας το pattern 1 για τους απλούς κόμβους και το pattern 2 για τα υδρόμετρα παρουσιάζονται τα παρακάτω αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων από την προσομοίωση.



Διάγραμμα 2.4: Ζητούμενη ροή



Διάγραμμα 2.5: Παρεχόμενη ροή



Διάγραμμα 2.6: Αποθηκευμένη ροή

Στο Διάγραμμα 2.4 παρουσιάζεται η ζητούμενη ροή (Flow Demanded) του δικτύου η οποία παραμένει σταθερή και ίση με 1,645.95 L/min σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, που

είναι αναμενόμενο λόγω του σταθερού pattern 2 που έχει επιλεγεί για τα υδρόμετρα του δικτύου.

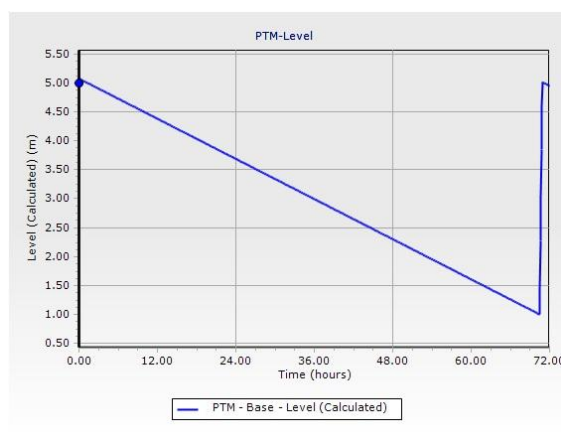
Στο Διάγραμμα 2.5 εμφανίζεται η παρεχόμενη ροή (Flow Supplied) κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Στην αρχή της προσομοίωσης φαίνεται ότι παρέχεται από τα ρεζερβουάρ στις δεξαμενές ποσότητα νερού ίση με 392,402.68 L/min για να ικανοποιήσει την ζήτηση των καταναλωτών. Η ποσότητα αυτή καλύπτει την ζήτηση για τις επόμενες 70.42 ώρες για αυτό η παρεχόμενη ροή είναι μηδενική σε αυτό το διάστημα. Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια απότομη αύξηση της παροχής για ένα μικρό χρονικό διάστημα παίρνοντας μέγιστη τιμή τα 202,094.62 L/min. Η απότομη αυτή αύξηση οφείλεται στην στάθμη του νερού στις δεξαμενές, η οποία πλέον βρίσκεται στο κατώτερο όριο που έχει ορισθεί, και χρειάζεται να γεμίσουν ξανά ώστε να καλυφθεί η ζήτηση για το υπόλοιπο της προσομοίωσης. Μετά από αυτό το διάστημα η τιμή της παροχής επιστρέφει στο μηδέν.

Ίδια πορεία με αυτή της παρεχόμενης ροής ακολουθεί και η αποθηκευμένη ροή (Flow Stored), όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.6. Στην αρχή της προσομοίωσης η αποθηκευμένη ροή είναι 390,756.71 L/min. Το θετικό πρόσημο στην τιμή αυτής της ροής σημαίνει ότι για το δεδομένο χρονικό διάστημα νερό εισρέει στην δεξαμενή. Στην συνέχεια και μέχρι την ώρα 70.42 η αποθηκευμένη ροή έχει σταθερή αρνητική τιμή ίση με 1,646 L/min, που σημαίνει ότι σε αυτό το χρονικό διάστημα οι δεξαμενές έχουν μόνο εκροή. Από την ώρα 70.45 έως τις 70.83 η αποθηκευμένη ροή παίρνει ξανά θετικές τιμές, με την μεγαλύτερη να είναι 200,448.631 L/min. Επομένως, το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η στάθμη του νερού στις δεξαμενές έφτασε στο κατώτερο όριο και νερό ρέει από τα ρεζερβουάρ στις δεξαμενές ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση για το υπόλοιπο της προσομοίωσης. Μετά από αυτό το χρονικό διάστημα η τιμή της αποθηκευμένης ροής παίρνει ξανά την ίδια αρνητική τιμή, που σημαίνει ότι η δεξαμενές αδειάζουν με σταθερό ρυθμό για τις υπόλοιπες ώρες.

Δεξαμενή PTM



(α) Ροή

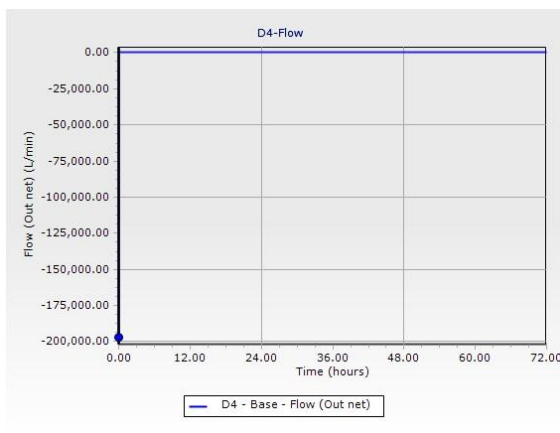


(β) Στάθμη

Διάγραμμα 2.7: Δεξαμενή PTM

Η δεξαμενή PTM έχει αρνητική ροή στην αρχή της προσομοίωσης ίση με 193,910.26 L/min, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.7 (α). Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα νερό εισέρχεται στην δεξαμενή από το ρεζερβουάρ μέχρι να φτάσει η στάθμη της στα 5m όπως έχει οριστεί από τους κανόνες και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.7 (β). Στην συνέχεια, η εκροή παίρνει θετική τιμή ίση με 1,212.47 L/min, μέχρι τη χρονική στιγμή 70.42, καθώς το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η δεξαμενή αδειάζει μέχρι η στάθμη της να φτάσει στο 1 m, που είναι η ελάχιστη δυνατή στάθμη. Από την χρονική στιγμή 70.45 έως την 70.83, η εκροή λαμβάνει ξανά αρνητικές τιμές που κυμαίνονται μεταξύ των 200,880.15 L/min και 194,564.73 L/min. Στο διάστημα αυτό η δεξαμενή γεμίζει ξανά με νερό μέχρι η στάθμη της να φτάσει τα 5 m. Αφού επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη στην δεξαμενή η εκροή παίρνει ξανά την ίδια σταθερή θετική τιμή και η δεξαμενή αρχίζει να αδειάζει, καθώς συνεχίζεται να ικανοποιείται η ζήτηση μέχρι το τέλος της προσομοίωσης.

Δεξαμενή D4



(α) Ροή



(β) Στάθμη

Διάγραμμα 2.8: Δεξαμενή D4

Η δεξαμενή D4, όπως παρατηρείται από τα Διαγράμματα 2.8 (α) και (β), παρουσιάζει αρνητική εκροή στην αρχή της προσομοίωσης ίση με 194,846.43 L/min, καθώς αυτή την χρονική στιγμή γεμίζει η δεξαμενή ώστε να φτάσει στην επιθυμητή στάθμη των 5m. Στην συνέχεια της προσομοίωσης η εκροή είναι θετική και η τιμή της παραμένει σταθερή στα 433.53 L/min. Η στάθμη της δεξαμενής, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, μειώνεται μέχρι τα 3.59 m, επομένως δεν χρειάζεται να γεμίσει ξανά αφού δεν φτάνει το κατώτερο όριο του 1 m.

Από τα διαγράμματα των δεξαμενών, παρατηρείται ότι οι απότομες αυξήσεις που παρουσιάζονται στα διαγράμματα της παρεχόμενης ροής και της αποθηκευμένης ροής οφείλονται στην δεξαμενή PTM η οποία φτάνει στο κατώτερο όριο στάθμης και χρειάζεται να γεμίσει ξανά.

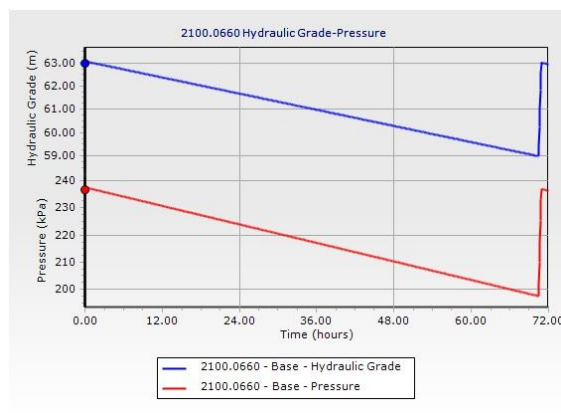
Υδρόμετρα

Λόγω του μεγάλου αριθμού των υδρομέτρων θα παρουσιαστούν ενδεικτικά τέσσερα υδρόμετρα από διαφορετικά σημεία του δικτύου. Για κάθε ένα από αυτά θα παρουσιαστεί η ζήτηση (Demand), η πίεση (Pressure) και η υδραυλική κλίση (Hydraulic Grade) που ορίζεται ως το άθροισμα του ύψους πίεσης (Pressure Head) και του υψομέτρου (Elevation) και αντιπροσωπεύει το ύψος στο οποίο θα ανερχόταν μια στήλη νερού σε ένα πιεζόμετρο. Επιπλέον, η υδραυλική κλίση αξιολογεί την πίεση στα υδρόμετρα και επιτρέπει τη εκτίμηση πιθανών προβλημάτων, όπως υποπίεση ή υπερπίεση, σε αυτά.

Υδρόμετρο 2100.0660



(α) Ζήτηση



(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

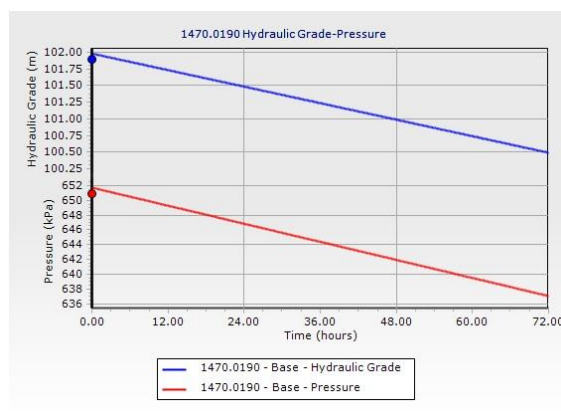
Διάγραμμα 2.9: Υδρόμετρο 2100.0660

Το υδρόμετρο 2100.0660 βρίσκεται σε υψόμετρο 38.85 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή PTM. Λόγω του σταθερού pattern 2 η ζήτηση του υδρομέτρου παραμένει σταθερή και ίση με 0.50 L/min σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.9 (α). Στο Διάγραμμα 2.9 (β) παρουσιάζονται η υδραυλική κλίση του υδρομέτρου, η οποία κυμαίνεται από τα 63.07 m έως τα 58.99 m, και η πίεση του η οποία παίρνει μέγιστη τιμή στα 237.53 kPa και ελάχιστη στα 197.55 kPa. Και οι δύο αυτές μεταβλητές παρουσιάζουν την ίδια πορεία κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Η μείωση που παρατηρείται οφείλεται στην πτώση της στάθμης της δεξαμενής, λόγω της λειτουργίας του δικτύου και της κατανάλωσης των υδρομέτρων, και η απότομη αύξηση, περίπου στις 70.50 ώρες, στην τροφοδότηση της από το ρεζερβουάρ, η οποία αποκαθιστά την υδραυλική κλίση και την πίεση στον κόμβο.

Υδρόμετρο 1470.0190



(α) Ζήτηση



(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

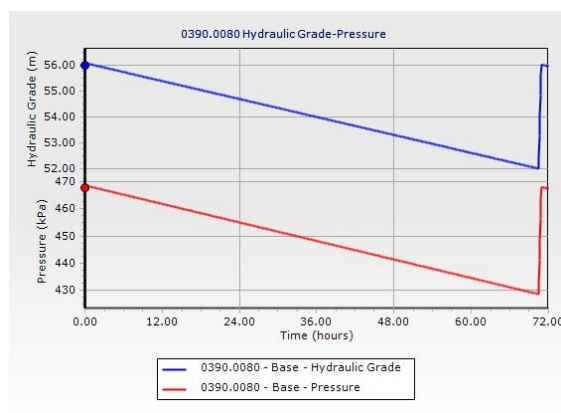
Διάγραμμα 2.10: Υδρόμετρο 1470.0190

Το υδρόμετρο 1470.0190 βρίσκεται σε υψόμετρο 35.53 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή D4, για αυτόν τον λόγο δεν παρατηρείται κάποια απότομη αύξηση στο Διάγραμμα 2.10 (β), καθώς η στάθμη της δεν φτάνει στο κατώτερο επιτρεπτό σημείο μέσα στις 72 ώρες που εκτελείται η προσομοίωση, ώστε να χρειαστεί να γεμίσει ξανά. Ωστόσο, εξαιτίας της μείωσης της στάθμης παρατηρείται καθοδική πορεία στις μεταβλητές της πίεσης και της υδραυλικής κλίσης, με την πρώτη να παίρνει τιμές από 651.70 kPa έως 637.08 kPa και την δεύτερη από 101.98 m έως 100.49 m. Η ζήτηση, λόγω του σταθερού pattern 2, παραμένει ίση με 0.50 L/min σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης.

Υδρόμετρο 0390.0080



(α) Ζήτηση



(β) Υδραυλική κλίση-Πίεσης

Διάγραμμα 2.11: Υδρόμετρο 0390.0080

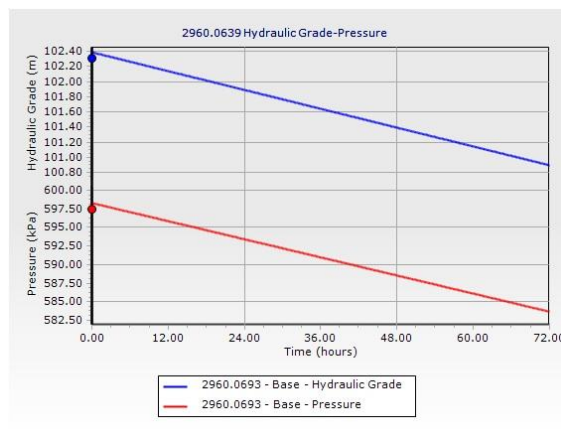
Το υδρόμετρο 0390.0080 βρίσκεται σε ύψος 8.30 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή PTM, για αυτό παρουσιάζεται η απότομη αύξηση στις μεταβλητές του Διαγράμματος 2.11 (β) την χρονική στιγμή που η δεξαμενή τροφοδοτείται ξανά με νερό από το ρεζερβουάρ. Η υδραυλική κλίση έχει ελάχιστη τιμή στα 52.01 m και μέγιστη στα 56.08 m, ενώ η πίεση στα

428.64 kPa και στα 468.62 kPa αντίστοιχα. Η ζήτηση, όπως και στα δύο προηγούμενα υδρόμετρα, παραμένει σταθερή και ίση με 0.50 L/min, λόγω του σταθερού pattern 2 που εφαρμόζεται στα υδρόμετρα του δικτύου.

Υδρόμετρο 2960.0693



(α) Ζήτηση



(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

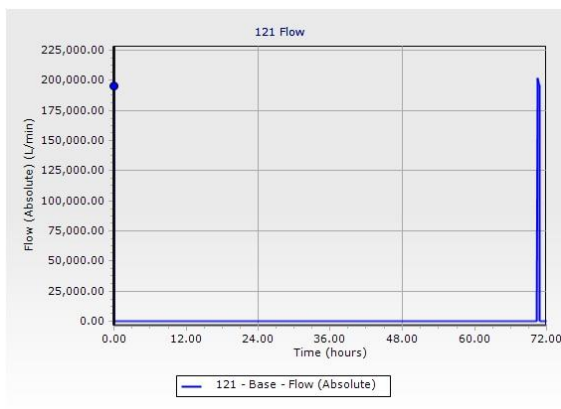
Διάγραμμα 2.12: Υδρόμετρο 2960.0693

Το υδρόμετρο 2960.0693 βρίσκεται σε υψόμετρο 41.38 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή D4. Η ζήτηση, λόγω του σταθερού pattern 2, παραμένει ίση με 0.50 L/min σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Λόγω της τροφοδοσίας του από την δεξαμενή D4, δεν παρατηρείται κάποια απότομη αύξηση στο Διάγραμμα 2.12 (β), καθώς η δεξαμενή δεν χρειάζεται να γεμίσει δεύτερη φορά κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ωστόσο, εξαιτίας της μείωσης της στάθμης παρατηρείται μείωση στις μεταβλητές της υδραυλικής κλίσης και της πίεσης, με την πρώτη να παίρνει τιμές από 102.39 m έως 100.90 m και την δεύτερη από 598.27 kPa έως 583.66 kPa.

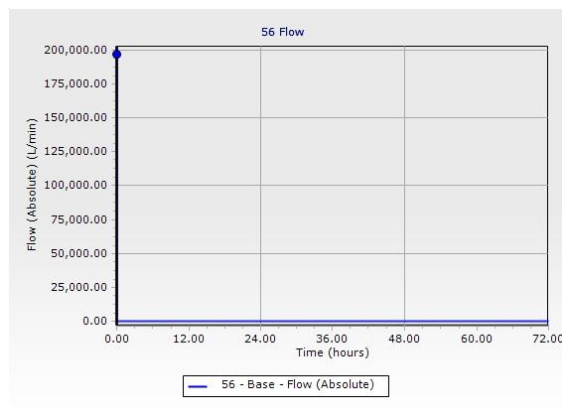
Αγωγοί 121 και 56

Οι αγωγοί 121 και 56 είναι οι δύο αγωγοί που συνδέουν τα ρεζερβουάρ με τις δεξαμενές και λειτουργούν σύμφωνα με τους κανόνες που έχουν διαμορφωθεί για την τροφοδοσία των δεξαμενών από τα ρεζερβουάρ, οι οποίοι έχουν παρουσιαστεί παραπάνω. Στα Διαγράμματα 2.13 (α) και (β) εμφανίζεται η ροή του νερού στους αγωγούς αυτούς κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Παρατηρείται ότι και οι αγωγοί 121 και 56 ανοίγουν στην αρχή της προσομοίωσης, ώστε να τροφοδοτήσουν τα ρεζερβουάρ τις δεξαμενές με νερό, για αυτό παρουσιάζουν θετική ροή 195,122.73 L/min και 197,279.96 L/min αντίστοιχα η οποία στην συνέχεια μηδενίζεται. Το χρονικό διάστημα από την ώρα 70.45 έως την 70.83 ο αγωγός 121 ανοίγει ξανά, καθώς η στάθμη του νερού στην δεξαμενή PTM με την οποία συνδέεται φτάνει στο κατώτερο δυνατό ύψος. Η ροή στον αγωγό παρουσιάζει απότομη αύξηση το χρονικό αυτό διάστημα και παίρνει τιμές από 202,094.62 L/min έως 195,777.18 L/min και στην

συνέχεια μηδενίζεται ξανά μέχρι το τέλος της προσομοίωσης. Αντιθέτως, στον αγωγό 56 δεν παρατηρείται κάποια απότομη αύξηση της ροής, διότι η δεξαμενή με την οποία συνδέεται δεν τροφοδοτείται δεύτερη φορά κατά την διάρκεια των 72 ωρών της προσομοίωσης.



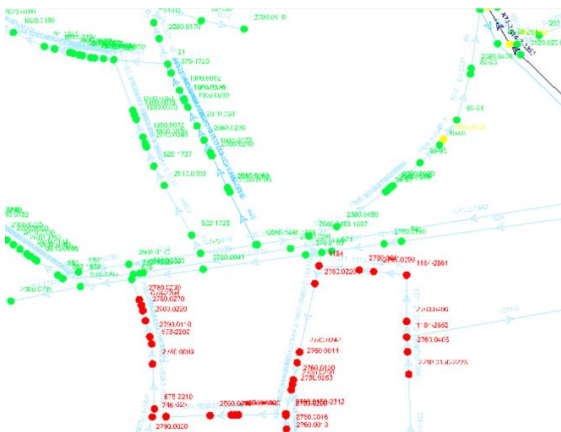
(α) Αγωγός 121



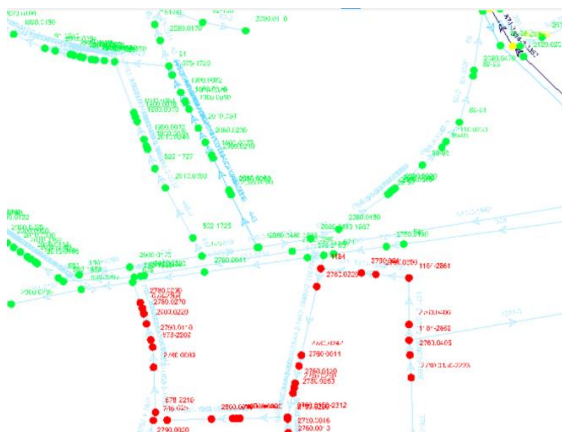
(β) Αγωγός 56

Διάγραμμα 2.13: Ροή αγωγών

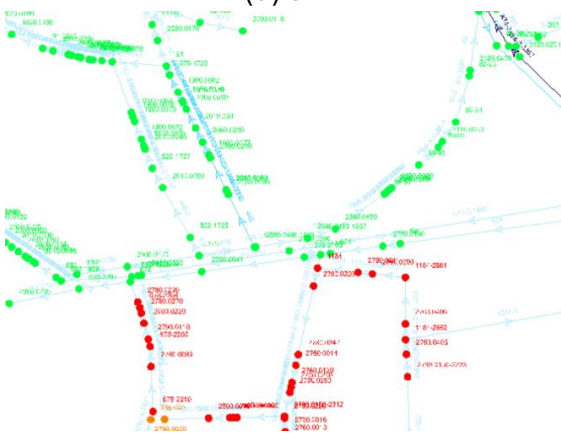
Μεταβολές ζήτησης, πίεσης και ροής σε περιοχή του δικτύου



(α) 9h



(β) 18h



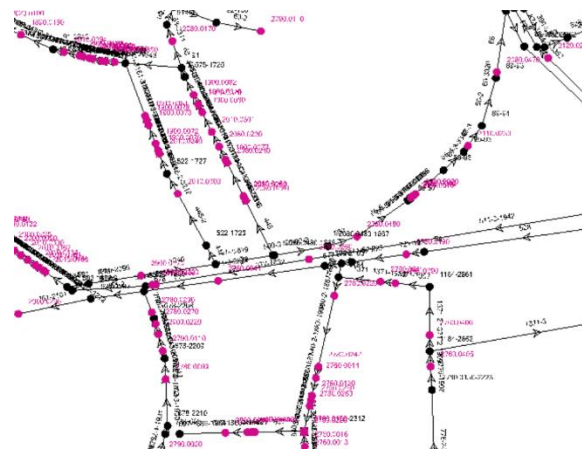
(γ) 65h



(δ) 71h

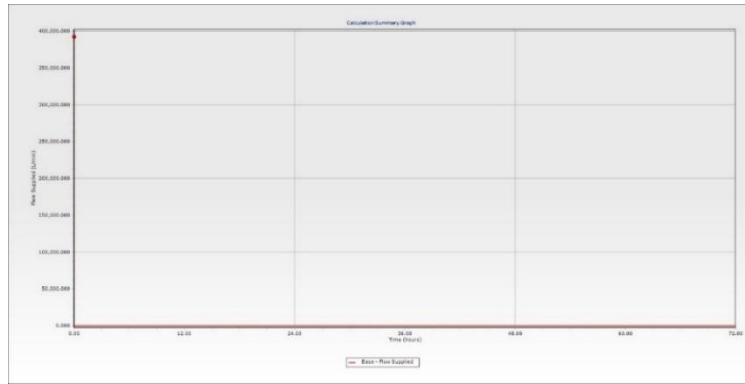
Εικόνα 2.3: Μεταβολές πίεσης και ροής

Η εφαρμογή του σταθερού pattern 2 στα υδρόμετρα και του pattern 1 στους απλούς κόμβους του δικτύου έχει ως αποτέλεσμα, σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, να μην υπάρχει αλλαγή στην βαθμίδα της κλίμακας που ανήκουν (Πίνακας 2.5).

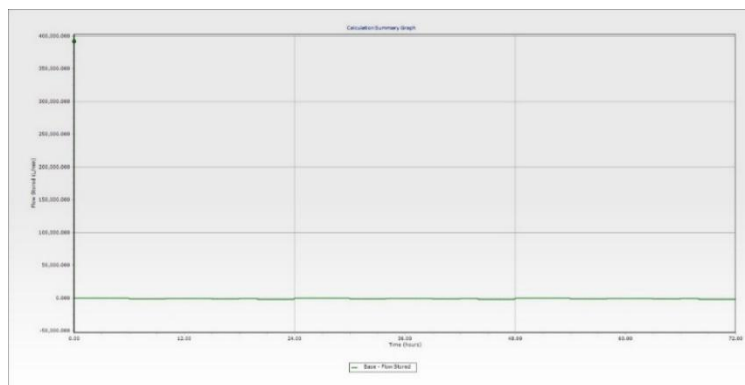


2.3.2 Αποτελέσματα για το pattern 2.1

26



Διάγραμμα 2.15: Παρεχόμενη ροή



Διάγραμμα 2.16: Αποθηκευμένη ροή

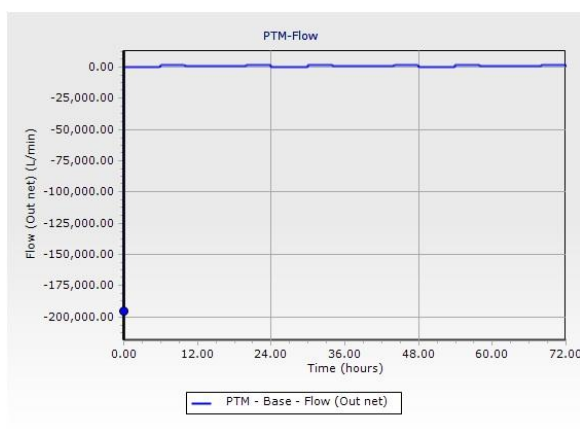
Στο Διάγραμμα 2.14 παρουσιάζεται η ζητούμενη ροή (Flow Demanded) του δικτύου, η οποία παρουσιάζει αυξομειώσεις λόγω των πολλαπλασιαστών του pattern 2. Η ζητούμενη ροή έχει, για τις πρώτες έξι ώρες, τιμή ίση με 329.21 L/min. Στην συνέχεια αυξάνεται στα 1,975.20 L/min για τέσσερις ώρες, δηλαδή μέχρι τις 10 ώρες, και μετά μειώνεται στα 822.98 L/min μέχρι τις 15 ώρες. Από τις 15 ώρες μέχρι τις 18 ώρες η ζητούμενη ροή αυξάνεται στα 1,645.95 L/min, ενώ από τις 18 ώρες έως τις 20 ώρες μειώνεται στα 1,152.18 L/min. Τέλος, για της επόμενες τέσσερις ώρες, δηλαδή μέχρι την ολοκλήρωση του εικοσιτετράωρου, η τιμή της ροή αυξάνεται στα 2,139.82 L/min. Οι τιμές αυτές επαναλαμβάνονται και για τα επόμενα δύο εικοσιτετράωρα που διαρκεί η προσομοίωση.

Στο Διάγραμμα 2.15 εμφανίζεται η παρεχόμενη ροή (Flow Supplied) κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Στην αρχή της προσομοίωσης ποσότητα νερού ίση με 392,402.68 L/min ρέει από τα ρεζερβουάρ προς τις δεξαμενές. Η ποσότητα αυτή καλύπτει την ζήτηση για τις επόμενες 72 ώρες, δηλαδή για όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, για αυτό η παρεχόμενη ροή είναι στην συνέχεια μηδενική.

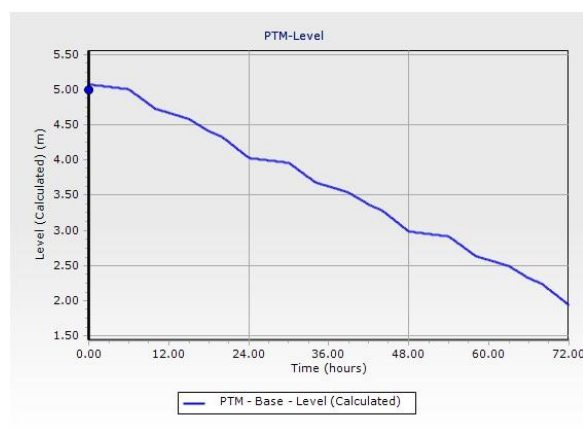
Η αποθηκευμένη ροή (Flow Stored), η οποία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.16, επηρεάζεται από του πολλαπλασιαστές του pattern 2.1. Αρχικά, επειδή οι δεξαμενές

γεμίζουν με νερό από τα ρεζερβουάρ, παίρνει θετική τιμή και ίση με 392,073.50 L/min. Στην συνέχεια, παρουσιάζει μόνο αρνητικές τιμές, καθώς οι δεξαμενές δεν δέχονται ξανά νερό από τα ρεζερβουάρ. Μέχρι τις 6 ώρες η τιμή της αποθηκευμένης ροής είναι ίση με -329.20 L/min. Από τις 6 ώρες μέχρι τις 10 ώρες η τιμή της μειώνεται στα -1,975.20 L/min και μετά αυξάνεται στα -823 L/min μέχρι τις 15 ώρες, όπου μειώνεται στα -1.646 L/min για τις επόμενες τρεις ώρες. Από τις 18 ώρες μέχρι τις 20 ώρες η αποθηκευμένη ροή αυξάνεται στα -1,152.20 L/min και στην συνέχεια μειώνεται στα -2,139.80 L/min μέχρι τις 24 ώρες. Οι αρνητικές αυτές τιμές επαναλαμβάνονται και για τις υπόλοιπες 48 ώρες της προσομοίωσης.

Δεξαμενή PTM



(α) Ροή

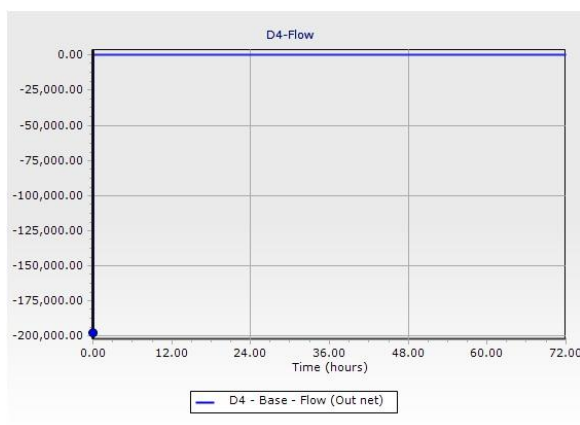


(β) Στάθμη

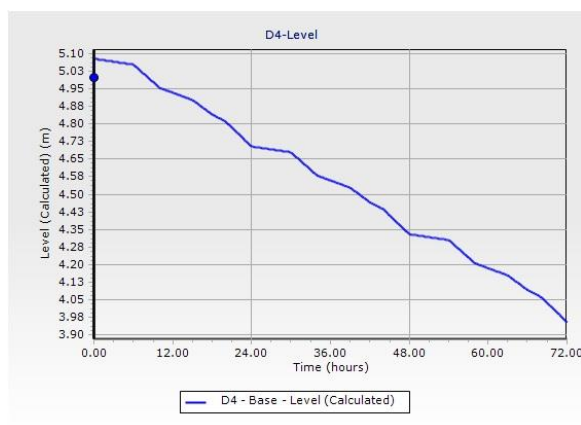
Διάγραμμα 2.17: Δεξαμενή PTM

Η δεξαμενή PTM έχει αρνητική ροή στην αρχή της προσομοίωσης ίση με 194,880.26 L/min, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.17 (α), καθώς γεμίζει με νερό από το ρεζερβουάρ. Στην συνέχεια, η ροή παίρνει μόνο θετικές τιμές, διότι το νερό εκρέει από την δεξαμενή προς το δίκτυο για να καλύψει την ζήτηση των υδρομέτρων. Λόγω του pattern 2.1, οι τιμές της ροής αλλάζουν ανάλογα με τον πολλαπλασιαστή του pattern. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι τις 6 ώρες η ροή είναι ίση με 242.47 L/min και στην συνέχεια αυξάνεται μέχρι τις 10 ώρες στα 1,454.97 L/min. Από τις 10 ώρες μέχρι τις 15 ώρες η ροή παίρνει τιμή ίση με 606.22 L/min και για τις επόμενες τρεις ώρες, δηλαδή μέχρι τις 18 ώρες, αυξάνεται στα 1,212.47 L/min. Από τις 18 ώρες μέχρι τις 20 ώρες η ροή μειώνεται στα 848.72 L/min και στην συνέχεια αυξάνεται στα 1,576.22 L/min μέχρι τις 24 ώρες, όπου η τιμή της γίνεται ξανά ίση με 242.47 L/min και επαναλαμβάνει αυτές τις τιμές για τα επόμενα δύο εικοσιτετράωρα. Η στάθμη της δεξαμενής, η οποία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.17 (β), βρίσκεται στην αρχή της προσομοίωσης τα 5 m, όπως ορίζουν οι κανόνες για αρχική τιμή. Στη συνέχεια, μειώνεται μέχρι τα 1.93 m, που είναι πάνω από το κατώτερο όριο, οπότε δεν χρειάζεται να γεμίσει δεύτερη φορά. Ο ρυθμός μείωσης της στάθμης διαφέρει αναλόγως με την τιμή της ροής. Όσο μεγαλύτερη είναι η ροή τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μείωσης της στάθμης.

Δεξαμενή D4



(α) Ροή



(β) Στάθμη

Διάγραμμα 2.18: Δεξαμενή D4

Η δεξαμενή D4 ακολουθεί αντίστοιχη πορεία με αυτή της δεξαμενής PTM και παρουσιάζει την χρονική στιγμή μηδέν αρνητική ροή ίση με 197,193.22 L/min, καθώς γεμίζει ώστε να φτάσει στην επιθυμητή στάθμη των 5m. Στην συνέχεια, ακολουθώντας το pattern 2.1, παίρνει θετικές τιμές, καθώς η δεξαμενή αδειάζει. Μέχρι τις 6 ώρες η τιμή της ροής είναι ίση με 86.73 L/min και στην συνέχεια αυξάνεται στα 520.23 L/min μέχρι τις 10 ώρες, όπου μειώνεται 216.78 L/min μέχρι τις 15 ώρες. Από τις 15 ώρες μέχρι τις 18 ώρες, η ροή αυξάνεται στα 433.53 L/min και μετά μειώνεται στα 303.48 L/min μέχρι τις 20 ώρες. Τέλος, αυξάνεται, μέχρι τις 24 ώρες στα 563.58 L/min μέχρι τις 24 ώρες. Οι τιμές αυτές επαναλαμβάνονται μέχρι το τέλος της προσομοίωσης στις 72 ώρες. Η στάθμη της δεξαμενής, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, μειώνεται μέχρι τα 3.95 m, επομένως δεν χρειάζεται να γεμίσει ξανά αφού δεν φτάνει το κατώτερο όριο του 1m. Όπως και στην δεξαμενή PTM, ο ρυθμός μείωσης επηρεάζεται από την τιμή της ροής.

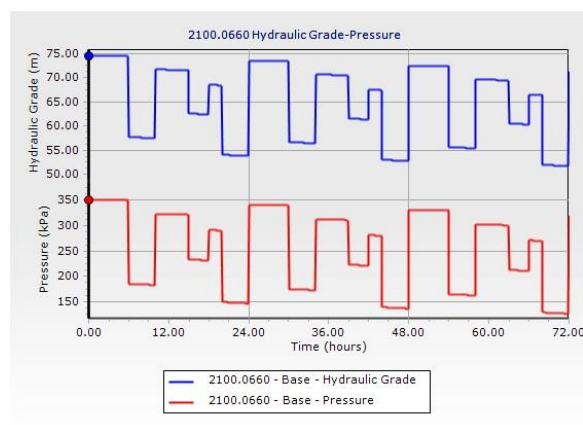
Υδρόμετρα

Για το pattern 2.1 θα παρουσιαστούν η ζήτηση (Demand), η πίεση (Pressure) και η υδραυλική κλίση (Hydraulic Grade) για τα υδρόμετρα 2100.0660, 1470.0190, 0390.0080 και 2960.0693.

Υδρόμετρο 2100.0660



(α) Ζήτηση

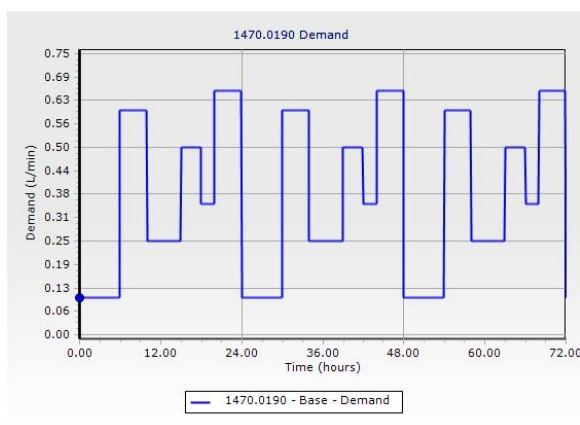


(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

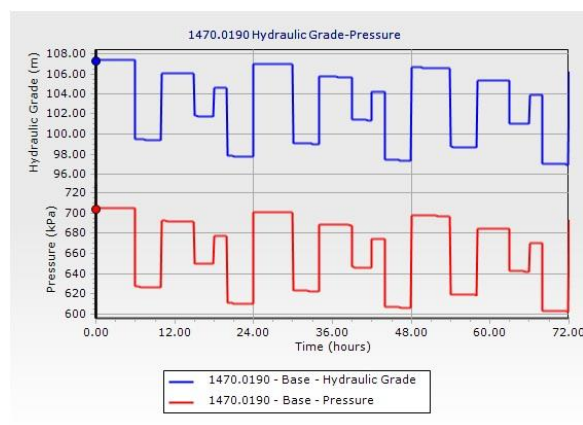
Διάγραμμα 2.19: Υδρόμετρο 2100.0660

Το υδρόμετρο 2100.0660 βρίσκεται σε υψόμετρο 38.85 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή PTM. Η ζήτηση του υδρομέτρου επηρεάζεται από τις τιμές των πολλαπλασιαστών του pattern 2.1. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι τις 6 ώρες η τιμή της ζήτησης ισούται με 0.10 L/min και στην συνέχεια αυξάνεται, μέχρι τις 10 ώρες, στα 0.60 L/min. Από τις 10 ώρες μέχρι τις 15 ώρες, η ζήτηση μειώνεται στα 0.25 L/min και μετά αυξάνεται στα 0.50 L/min μέχρι τις 18 ώρες, όπου μειώνεται στα 0.35 L/min μέχρι τις 20 ώρες. Για τις επόμενες τέσσερις ώρες, η ζήτηση παίρνει τιμή ίση με 0.65 L/min και στην συνέχεια επαναλαμβάνει αυτές τις τιμές για άλλα δύο εικοσιτετράωρα. Στο Διάγραμμα 2.19 (β) παρουσιάζονται η υδραυλική κλίση του υδρομέτρου, η οποία έχει μέγιστη τιμή τα 74.61 m και ελάχιστη τιμή τα 51.65 m, και η πίεση του με τιμές 349.97 kPa και 125.54 kPa, αντίστοιχα. Και οι δύο μεταβλητές ακολουθούν την ίδια πορεία και εμφανίζουν μικρές μειώσεις στις τιμές τους ανά εικοσιτετράωρο. Η μείωση αυτή οφείλεται στην πτώση της στάθμης της δεξαμενής, λόγω της τροφοδότησης του δικτύου. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η πίεση και η υδραυλική κλίση παίρνουν τις μεγαλύτερες τιμές τους όταν η ζήτηση έχει τις μικρότερες τιμές της και τις μικρότερες όταν η ζήτηση έχει τις μεγαλύτερες τιμές της. Αυτό συμβαίνει, διότι όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη, η δεξαμενή αδειάζει πιο γρήγορα με αποτέλεσμα ο ρυθμός μείωσης του ύψους της στάθμης να είναι μεγαλύτερος σε σχέση με όταν η ζήτηση παίρνει μικρότερες τιμές. Καθώς η πίεση είναι ανάλογη αυτού του ύψους παρατηρείται αυτή η διαφορά στις τιμές της αναλόγως με την ζήτηση και επειδή η υδραυλική κλίση επηρεάζεται από την πίεση ακολουθεί και αυτή την ίδια πορεία. Επίσης, τα χρονικά διαστήματα όπου η ζήτηση παραμένει σταθερή σε κάποια τιμή παρατηρείται μια μικρή μείωση στην πίεση και στην υδραυλική κλίση, για αυτό τα διαγράμματα παρουσιάζουν μια πτωτική πορεία.

Υδρόμετρο 1470.0190



(α) Ζήτηση

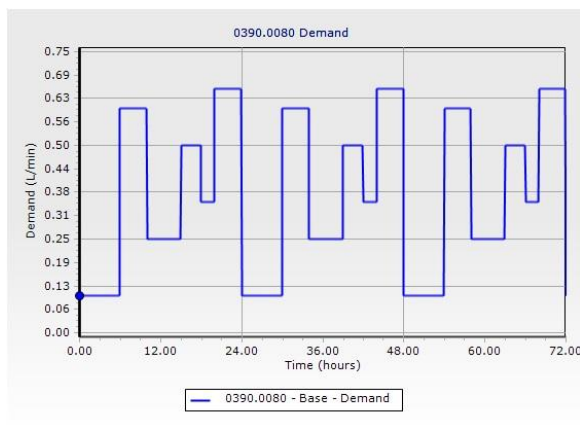


(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

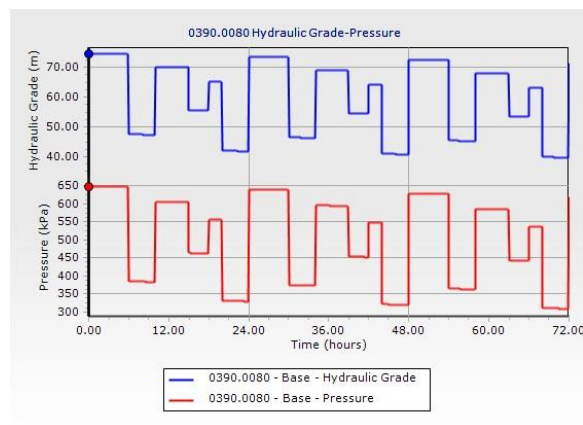
Διάγραμμα 2.20: Υδρόμετρο 1470.0190

Το υδρόμετρο 1470.0190 βρίσκεται σε υψόμετρο 35.53 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή D4. Τα Διαγράμματα 2.20 (α) και (β) της ζήτησης, της υδραυλικής κλίσης και της πίεσης ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτά του υδρομέτρου 2100.0660. Η ζήτηση παίρνει τις ίδιες τιμές, λόγω του pattern 2.1. Η υδραυλική κλίση παρουσιάζει μέγιστη τιμή στα 107.37 m και ελάχιστη στα 96.96 m, ενώ η πίεση στα 704.56 kPa και στα 602.50 kPa, αντίστοιχα.

Υδρόμετρο 0390.0080



(α) Ζήτηση

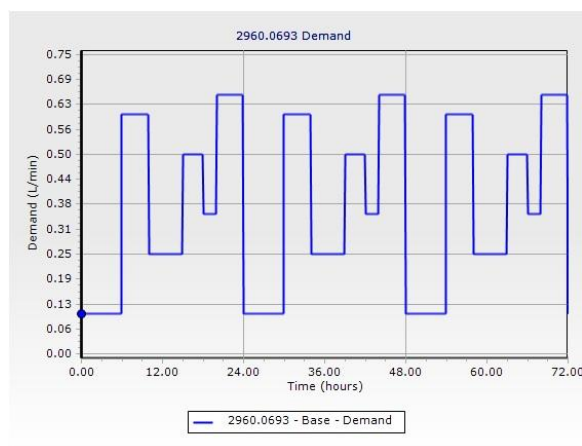


(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

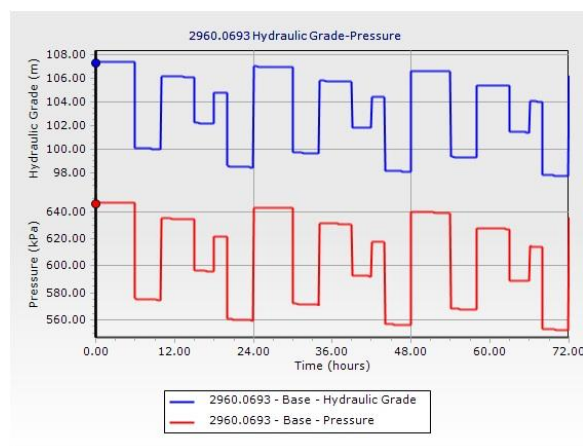
Διάγραμμα 2.21: Υδρόμετρο 0390.0080

Το υδρόμετρο 0390.0080 βρίσκεται σε ύψος 8.30 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή PTM. Τα Διαγράμματα 2.21 (α) και (β) ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτά των δύο προηγούμενων υδρομέτρων. Η ζήτηση, ακολουθώντας το pattern 2.1, παίρνει τις ίδιες τιμές. Η πίεση παίρνει μέγιστη τιμή στα 648.21 kPa και ελάχιστη στα 308.89 kPa, ενώ η υδραυλική κλίση στα 74.40 m και στα 39.79 m, αντίστοιχα.

Υδρόμετρο 2960.0693



(α) Ζήτηση



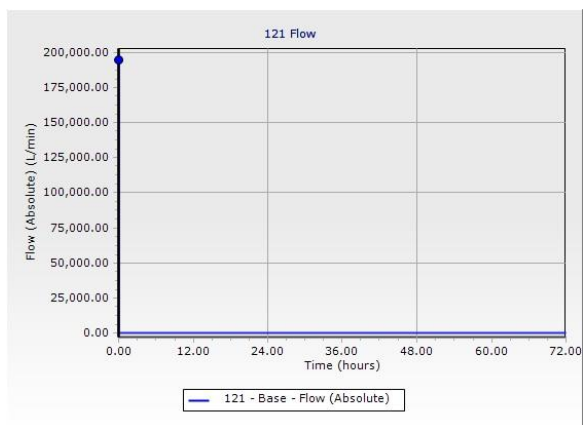
(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

Διάγραμμα 2.22: Υδρόμετρο 2960.0693

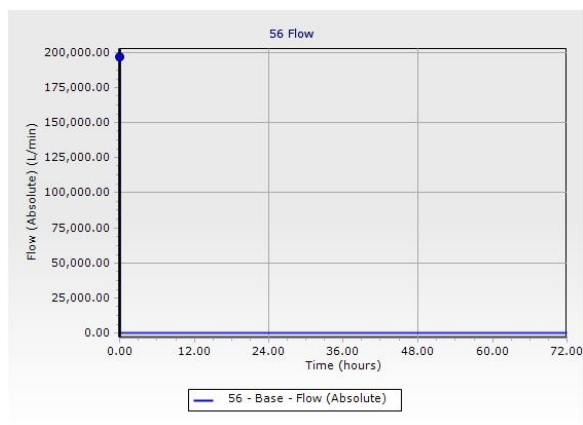
Το υδρόμετρο 2960.0693 βρίσκεται σε υψόμετρο 41.38 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή D4. Τα Διαγράμματα 2.22 (α) και (β) της ζήτησης, της υδραυλικής κλίσης και της πίεσης, αντίστοιχα, ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτά των προηγούμενων υδρομέτρων. Η ζήτηση παίρνει τις ίδιες τιμές, λόγω του pattern 2.1. Η υδραυλική κλίση παρουσιάζει μέγιστη τιμή στα 107.37 m και ελάχιστη στα 97.68 m, ενώ η πίεση στα 647.18 kPa και στα 552.12 kPa, αντίστοιχα.

Αγωγοί 121 και 56

Στα Διαγράμματα 2.23 (α) και (β) εμφανίζεται η ροή του νερού στους αγωγούς 121 και 56, οι οποίοι συνδέουν τα ρεζερβουάρ με τις δεξαμενές. Οι δύο αυτοί αγωγοί, ακολουθώντας τους κανόνες τροφοδοσίας των δεξαμενών, ανοίγουν στην αρχή της προσομοίωσης ώστε να γεμίσουν οι δεξαμενές με νερό από τα ρεζερβουάρ. Η ροή, την χρονική στιγμή μηδέν, είναι 195,122.73 L/min για τον αγωγό 121 και 197,279.95 L/min για τον αγωγό 56. Η ποσότητα αυτή είναι αρκετή ώστε να καλυφθεί η ζήτηση των υδρομέτρων για τις επόμενες 72 ώρες, επομένως οι αγωγοί δεν ανοίγουν ξανά για αυτό μηδενίζεται η τιμή της ροής τους για τις υπόλοιπες ώρες της προσομοίωσης.



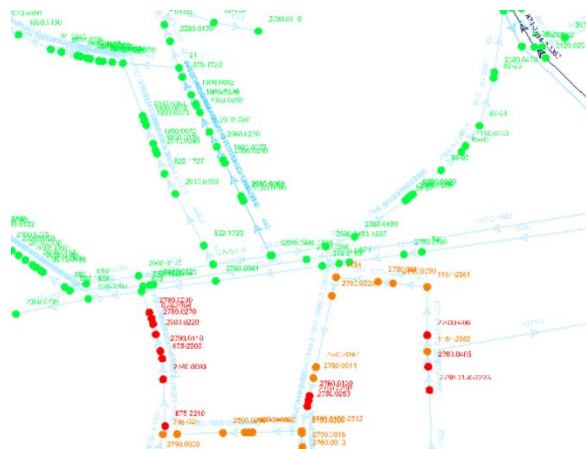
(α) Αγωγός 121



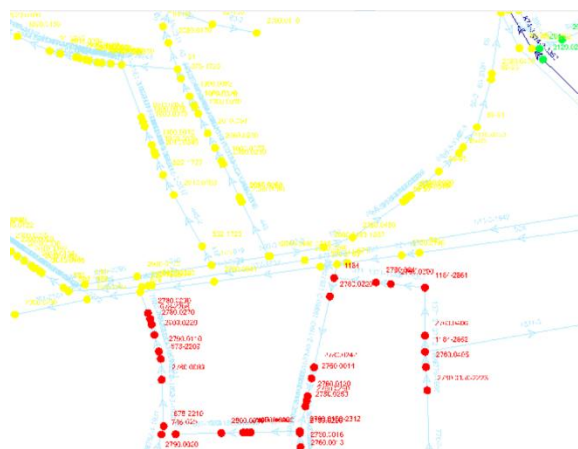
(β) Αγωγός 56

Διάγραμμα 2.23: Ροή αγωγών

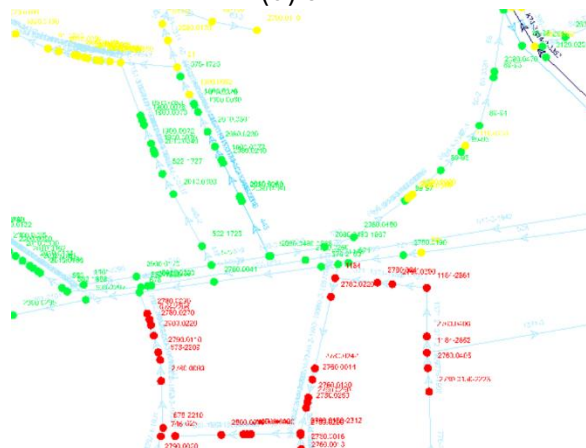
Μεταβολές ζήτησης, πίεσης και ροής σε περιοχή του δικτύου



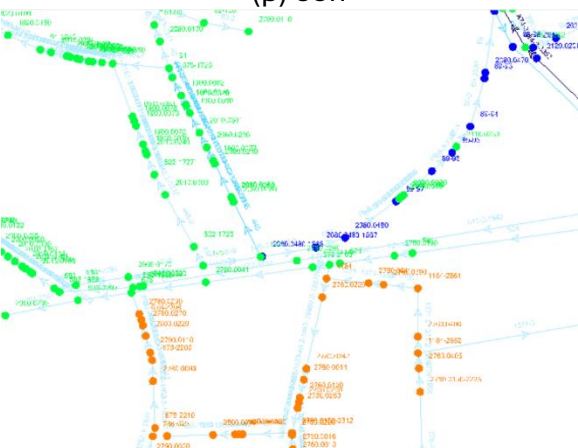
(α) 9h



(β) 38h



(γ) 67h



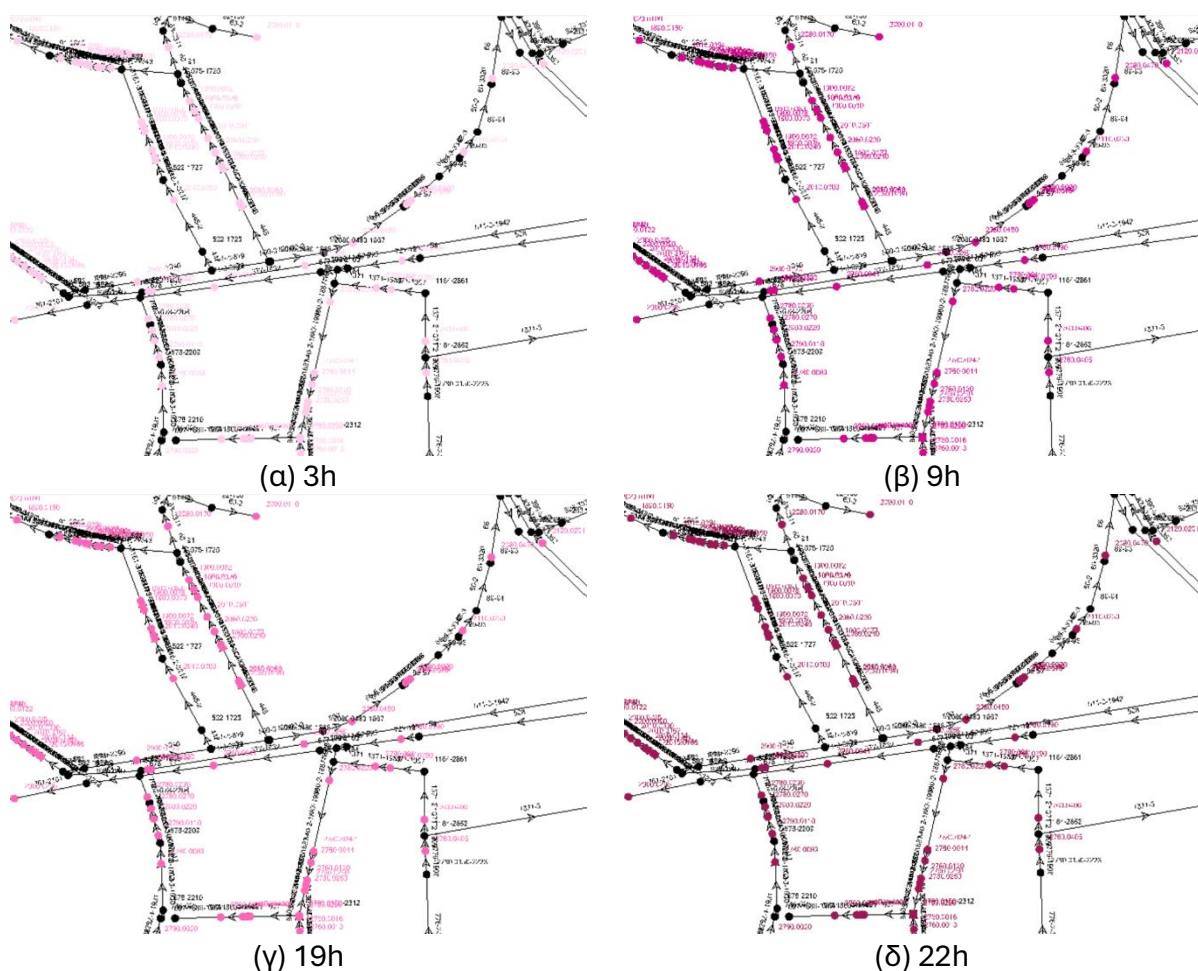
(δ) 71h

Εικόνα 2.5: Μεταβολές πίεσης και ροής

Στις Εικόνες 2.5 (α), (β), (γ) και (δ) παρουσιάζονται οι μεταβολές στους κόμβους και στους αγωγούς μιας περιοχής του δικτύου σε τέσσερις διαφορετικές χρονικές στιγμές σύμφωνα

με τις κλίμακες των Πινάκων 2.6 και 2.7 . Οι εικόνες αντιστοιχούν στις ώρες 9, 38, 67 και 71 κατά τις οποίες οι πιέσεις των κόμβων και οι τιμές της ροής στους αγωγούς μεταβάλλονται σημαντικά, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αλλαγές στις βαθμίδες των κλιμάκων.

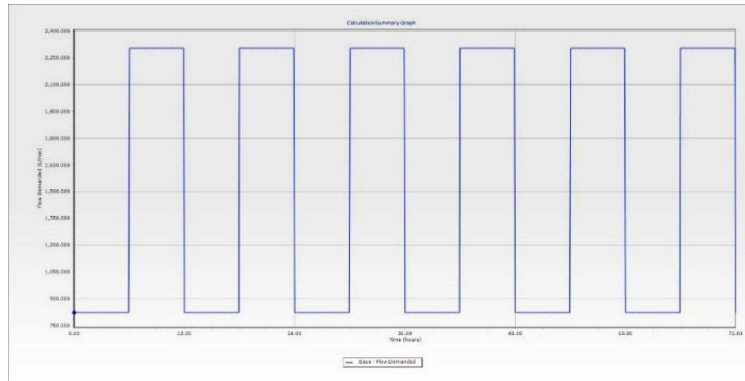
Η εφαρμογή του pattern 2.1 στα υδρόμετρα επιφέρει μεταβολές στην τιμή της ζήτησης λόγω των πολλαπλασιαστών του, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αλλαγές μεταξύ των βαθμίδων τις κλίμακας (Πίνακας 2.5). Αντιθέτως, στους απλούς κόμβους του δικτύου, όπου εφαρμόζεται το σταθερό pattern 1, η τιμή της ζήτησης είναι σταθερά μηδενική. Στις Εικόνες 2.6 (α), (β), (γ) και (δ) παρουσιάζεται η ζήτηση των υδρομέτρων και των απλών κόμβων του δικτύου για τις ώρες 3, 9, 19 και 22.



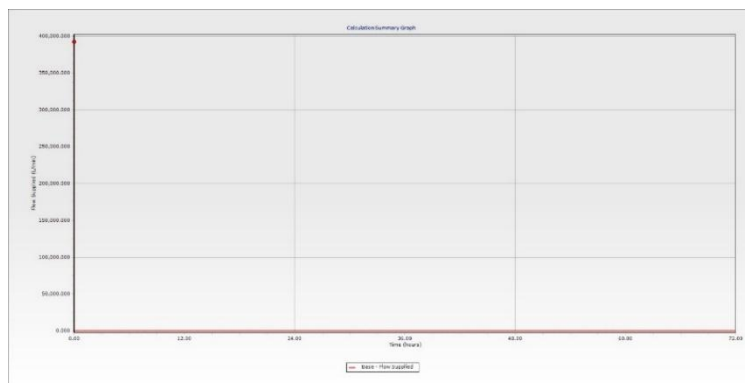
Εικόνα 2.6: Μεταβολές ζήτησης

2.3.3 Αποτελέσματα για το pattern 2.2

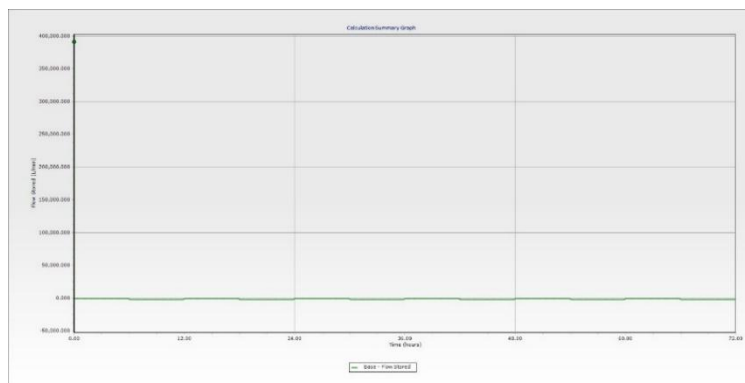
Εφαρμόζοντας το pattern 2.2 στα υδρόμετρα και το pattern 1 στους απλούς κόμβους του δικτύου παρουσιάζονται τα παρακάτω αποτελέσματα για το δίκτυο.



Διάγραμμα 2.24: Ζητούμενη ροή



Διάγραμμα 2.25: Παρεχόμενη ροή



Διάγραμμα 2.26: Αποθηκευμένη ροή

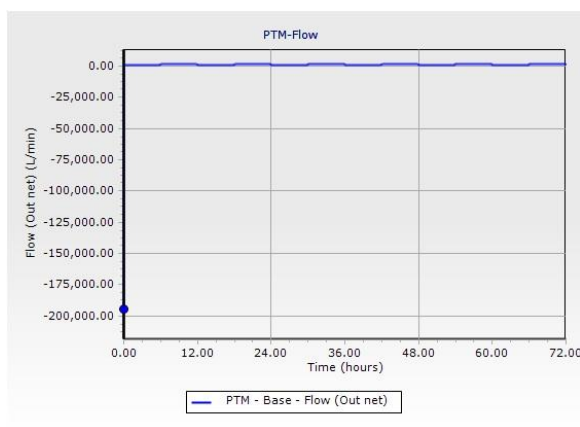
Στο Διάγραμμα 2.24 παρουσιάζεται η ζητούμενη ροή (Flow Demanded) του δικτύου η οποία εναλλάσσεται μεταξύ δύο τιμών ανά έξι ώρες λόγω του pattern 2.2 που έχει επιλεγθεί για τα υδρόμετρα. Η κατώτερη τιμή είναι 822.98 L/min και η ανώτερη 2,304.35 L/min.

Στο Διάγραμμα 2.25 εμφανίζεται η παρεχόμενη ροή (Flow Supplied) κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Στην αρχή της προσομοίωσης φαίνεται ότι παρέχεται από τα ρεζερβουάρ στις δεξαμενές ποσότητα νερού ίση με 392,402.68 L/min για να ικανοποιήσει την ζήτηση των

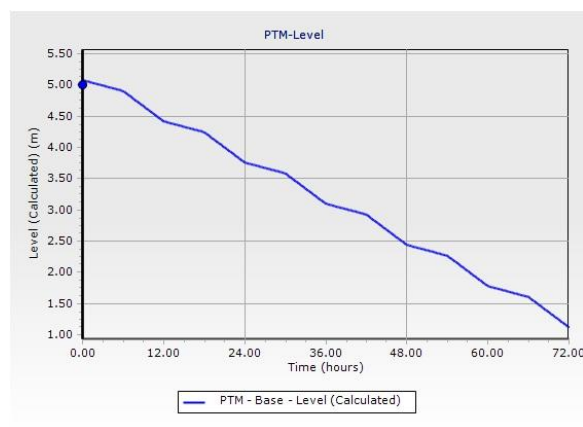
καταναλωτών. Η ποσότητα αυτή καλύπτει την ζήτηση για τις επόμενες 72 ώρες, δηλαδή για όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, για αυτό η παρεχόμενη ροή είναι στην συνέχεια μηδενική.

Η αποθηκευμένη ροή (Flow Stored), η οποία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.26, έχει αρχικά θετική τιμή και ίση με 391,579.68 L/min, καθώς το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα νερό οι δεξαμενές γεμίζουν με νερό από τα ρεζερβουάρ. Στην συνέχεια, η αποθηκευμένη ροή παίρνει μόνο αρνητικές τιμές, διότι οι δεξαμενές παρέχουν ροή στο δίκτυο για το υπόλοιπο της προσομοίωσης χωρίς να χρειαστεί να τροφοδοτηθούν ξανά με νερό από τα ρεζερβουάρ. Λόγω του pattern 2.2, ανά έξι ώρες η τιμή της ροής εναλλάσσεται από τα -823.00 L/min στα -2,304.40 L/min.

Δεξαμενή PTM



(α) Ροή

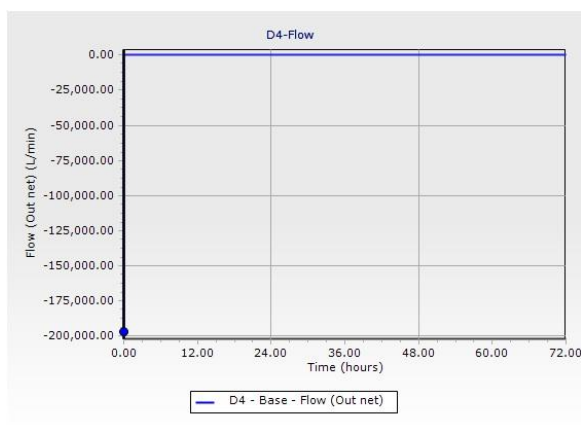


(β) Στάθμη

Διάγραμμα 2.27: Δεξαμενή PTM

Η δεξαμενή PTM έχει αρνητική ροή στην αρχή της προσομοίωσης ίση με 194,516.51 L/min, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.27 (α). Η αρνητική τιμή της οφείλεται στην εισροή νερού από το ρεζερβουάρ ώστε να φτάσει η στάθμη της στα 5 m όπως έχει οριστεί από τους κανόνες και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.27 (β). Στην συνέχεια, το νερό αρχίζει να εκρέει από την δεξαμενή προς το υπόλοιπο δίκτυο για αυτό η ροή παρουσιάζει θετικές τιμές. Λόγω του pattern 2.2 η τιμή της εναλλάσσεται ανά έξι ώρες μεταξύ των 606.22 L/min και των 1,697.47 L/min και έχει ως αποτέλεσμα η στάθμη της δεξαμενής να μειώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό κάθε δεύτερο εξάωρο. Επιπλέον, η στάθμη δεν φτάνει, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, στο 1 m που είναι το κατώτερο δυνατό ύψος, οπότε η δεξαμενή δεν χρειάζεται να γεμίσει δεύτερη φορά.

Δεξαμενή D4



(α) Ροή



(β) Στάθμη

Διάγραμμα 2.28: Δεξαμενή D4

Η δεξαμενή D4 ακολουθεί αντίστοιχη πορεία με αυτή της δεξαμενής PTM. Αρχικά παρουσιάζει αρνητική ροή ίση με 197,063.17 L/min, καθώς γεμίζει ώστε να φτάσει στην επιθυμητή στάθμη των 5 m. Στην συνέχεια η τιμή της γίνεται θετική και ανά εξάωρο εναλλάσσεται μεταξύ των 216.78 L/min και των 606.93 L/min, για αυτό παρατηρείται και διαφορά στον ρυθμό μείωσης της στάθμης. Η στάθμη της δεξαμενής, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, μειώνεται μέχρι τα 3.66 m, επομένως δεν χρειάζεται να γεμίσει ξανά αφού δεν φτάνει το κατώτερο όριο του 1 m.

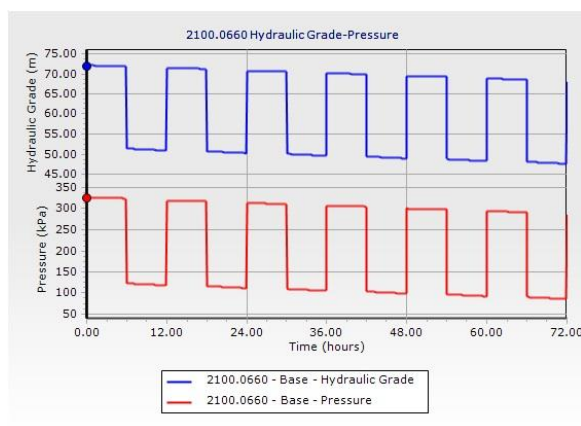
Υδρόμετρα

Για το pattern 2.2 θα παρουσιαστούν, όπως και στα προηγούμενα patterns, η ζήτηση (Demand), η πίεση (Pressure) και η υδραυλική κλίση (Hydraulic Grade) για τα υδρόμετρα 2100.0660, 1470.0190, 0390.0080 και 2960.0693.

Υδρόμετρο 2100.0660



(α) Ζήτηση

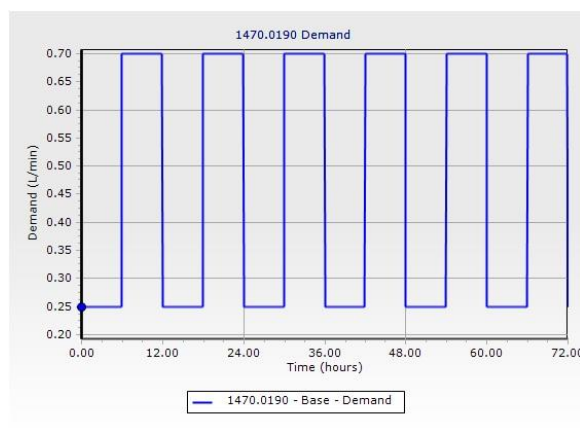


(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

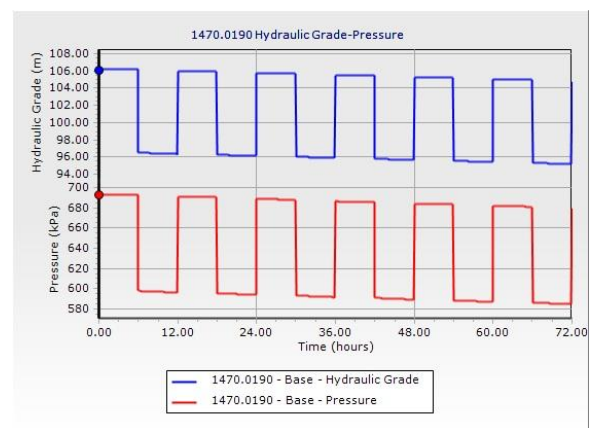
Διάγραμμα 2.29: Υδρόμετρο 2100.0660

Το υδρόμετρο 2100.0660 βρίσκεται σε υψόμετρο 38.85 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή PTM. Η ζήτηση του υδρομέτρου εναλλάσσεται ανά έξι ώρες μεταξύ των τιμών 0.25 L/min και 0.70 L/min, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.29 (α), καθώς επηρεάζεται από το βηματικό pattern 2.2. Στο Διάγραμμα 2.29 (β) παρουσιάζονται η υδραυλική κλίση του υδρομέτρου, η οποία έχει μέγιστη τιμή τα 72.08 m και ελάχιστη τιμή τα 47.59 m, και η πίεση του με τιμές 325.92 kPa και 85.77 kPa, αντίστοιχα. Και οι δύο μεταβλητές ακολουθούν την ίδια βηματική πορεία και εμφανίζουν μικρές μειώσεις στις τιμές τους ανά εξάωρο. Η μορφή των διαγραμμάτων είναι ίδια με αυτή του pattern 2.1, λόγω της επιρροής του ύψους της στάθμης της δεξαμενής στην πίεση.

Υδρόμετρο 1470.0190



(α) Ζήτηση



(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

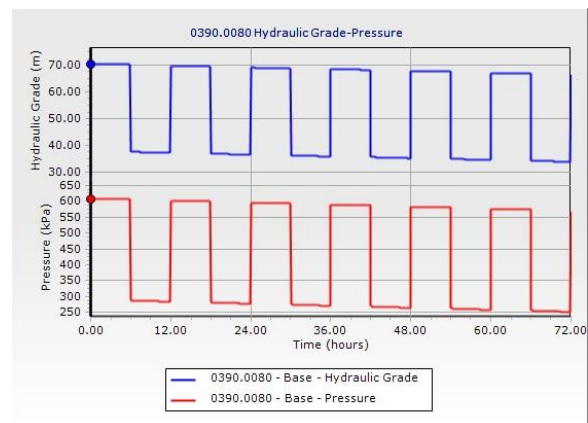
Διάγραμμα 2.30: Υδρόμετρο 1470.0190

Το υδρόμετρο 1470.0190 βρίσκεται σε υψόμετρο 35.53 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή D4. Τα Διαγράμματα 2.30 (α) και (β) που παρουσιάζουν την ζήτηση και την υδραυλική κλίση και την πίεση, αντίστοιχα, ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτά του υδρομέτρου 2100.0660. Η ζήτηση, καθώς επηρεάζεται από το μεταβαλλόμενο pattern 2.1, παίρνει τις δύο ίδιες τιμές, δηλαδή 0.25 L/min και 0.70 L/min, ανά εξάωρο. Η υδραυλική κλίση παρουσιάζει μέγιστη τιμή στα 106.22 m και ελάχιστη στα 95.15 m, ενώ η πίεση στα 693.26 kPa και στα 584.72 kPa, αντίστοιχα.

Υδρόμετρο 0390.0080



(α) Ζήτηση

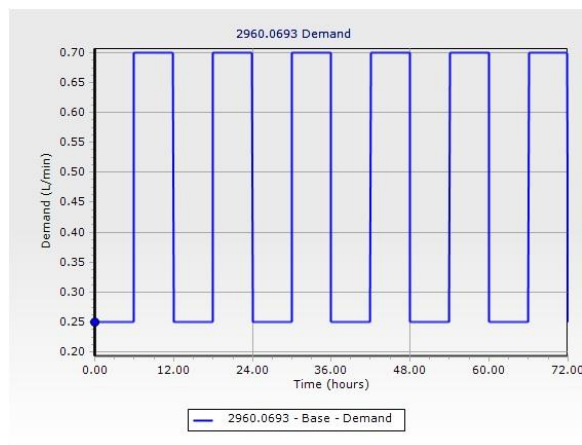


(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

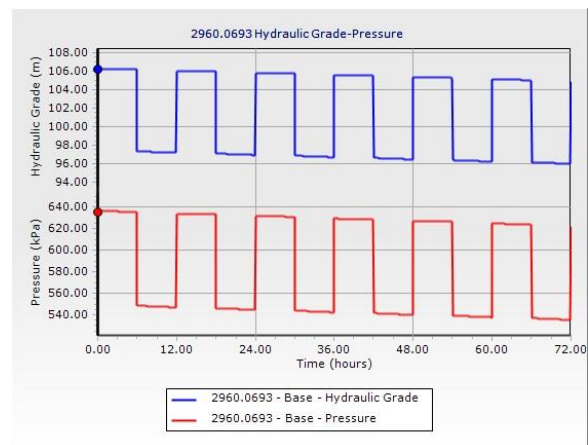
Διάγραμμα 2.31: Υδρόμετρο 0390.0080

Το υδρόμετρο 0390.0080 βρίσκεται σε ύψος 8.30 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή PTM. Τα Διαγράμματα 2.31 (α) και (β) ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτά των δύο προηγούμενων υδρομέτρων. Η ζήτηση, ακολουθώντας το pattern 2.2, εναλλάσσεται ανά εξάωρο μεταξύ των τιμών 0.25 L/min και 0.70 L/min. Η πίεση παίρνει μέγιστη τιμή στα 608.79 kPa και ελάχιστη στα 250.43 kPa, ενώ η υδραυλική κλίση στα 70.38 m και στα 33.83 m, αντίστοιχα.

Υδρόμετρο 2960.0693



(α) Ζήτηση



(β) Υδραυλική κλίση-Πίεση

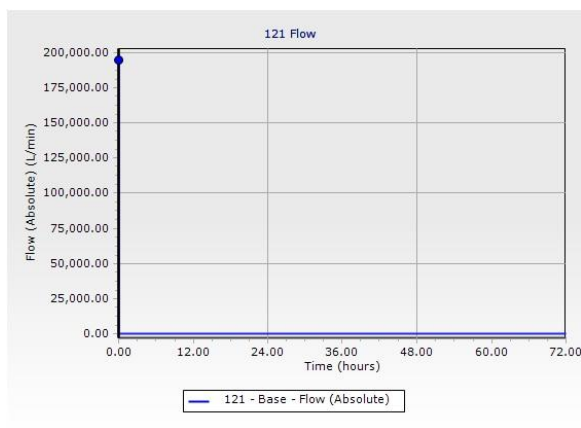
Διάγραμμα 2.32: Υδρόμετρο 2960.0693

Το υδρόμετρο 2960.0693 βρίσκεται σε υψόμετρο 41.38 m και τροφοδοτείται από την δεξαμενή D4. Τα Διαγράμματα 2.32 (α) και (β) της ζήτησης, της υδραυλικής κλίσης και της πίεσης ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτά των προηγούμενων υδρομέτρων. Η ζήτηση εναλλάσσεται μεταξύ των τιμών 0.25 L/min και 0.70 L/min ανά εξάωρο. Η υδραυλική κλίση

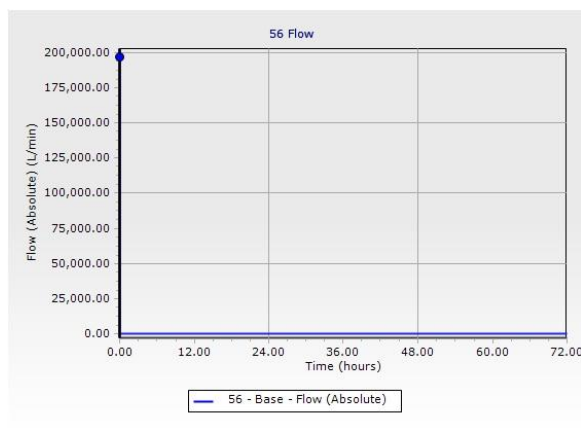
παρουσιάζει μέγιστη τιμή στα 106.28 m και ελάχιστη στα 95.99 m, ενώ η πίεση στα 636.48 kPa και στα 535.53 kPa, αντίστοιχα.

Αγωγοί 121 και 56

Στα Διαγράμματα 2.33 (α) και (β) εμφανίζεται η ροή του νερού στους αγωγούς 121 και 56. Τα διαγράμματα είναι ίδια με τα αντίστοιχα διαγράμματα του pattern 2.1. Αυτό συμβαίνει, διότι και στις δύο περιπτώσεις οι δεξαμενές γεμίζουν μία φορά και καθώς δεν υπάρχει κάποιος διαφορετικός παράγοντας ως προς την τροφοδότησή τους από τα ρεζερβουάρ εμφανίζουν την ίδια ροή. Επομένως, η ροή, την χρονική στιγμή μηδέν, είναι 195,122.73 L/min για τον αγωγό 121 και 197,279.95 L/min για τον αγωγό 56.



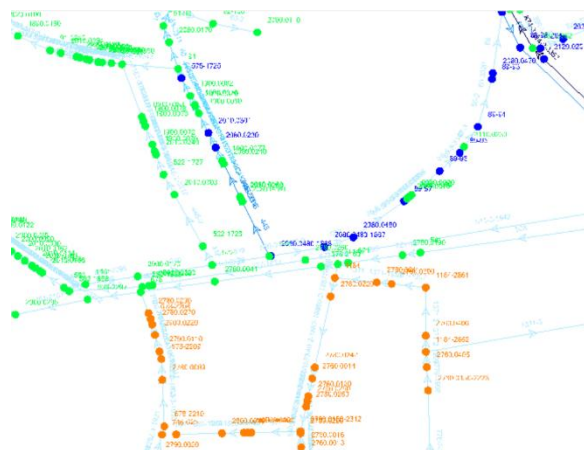
(α) Αγωγός 121



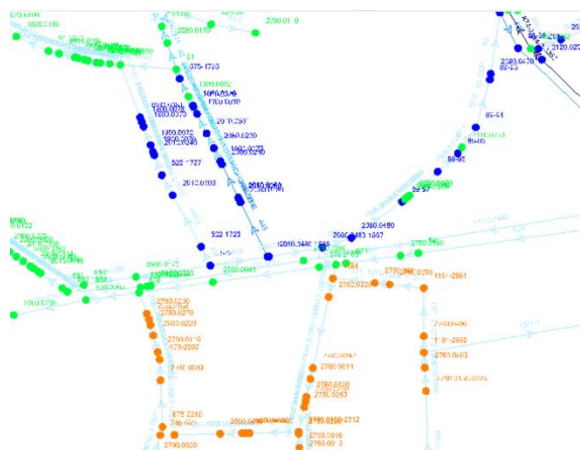
(β) Αγωγός 56

Διάγραμμα 2.33: Ροή αγωγών

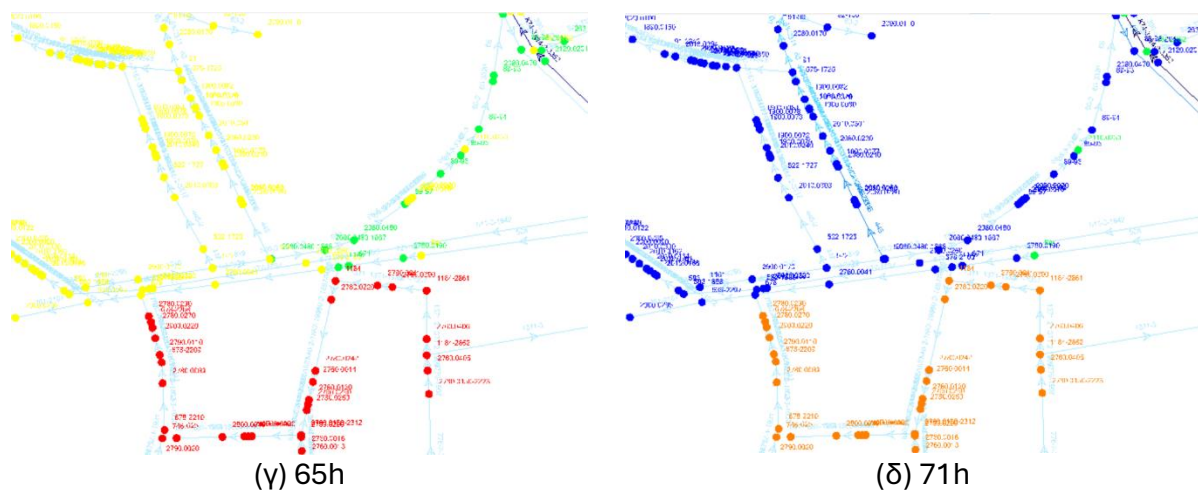
Μεταβολές ζήτησης, πίεσης και ροής σε περιοχή του δικτύου



(α) 9h



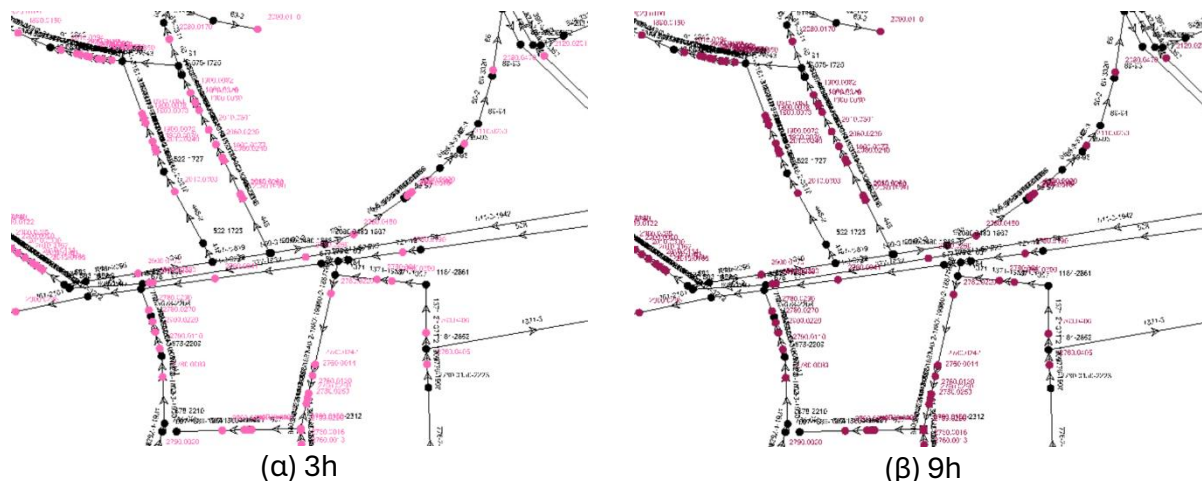
(β) 33h

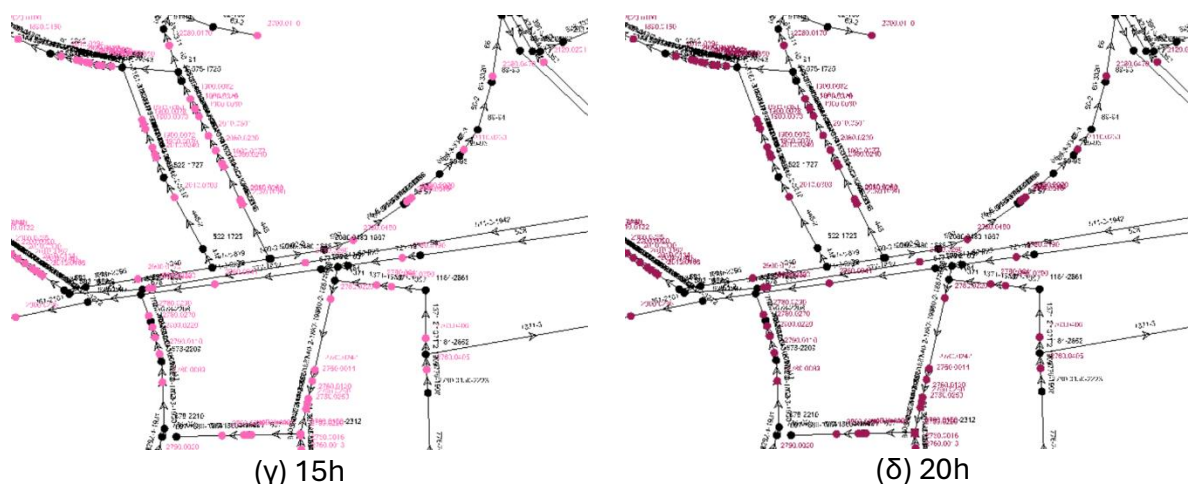


Εικόνα 2.7: Μεταβολές πίεσης και ροής

Οι τιμές των πιέσεων στους κόμβους και των ροών στους αγωγούς μιας περιοχής του δικτύου για τις ώρες 9, 33, 65 και 71, παρουσιάζονται στις Εικόνες 2.7 (α), (β), (γ) και (δ). Καθώς οι τιμές μεταβάλλονται, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, τα χρώματα των κόμβων και των αγωγών αλλάζουν, ακολουθώντας τις αντίστοιχες κλίμακες των Πινάκων 2.6 και 2.7.

Η εφαρμογή του βηματικού pattern 2.2 στα υδρόμετρα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση δύο διαφορετικών τιμών ζήτησης, οι οποίες εναλλάσσονται μεταξύ τους ανά εξάωρο. Η τιμές αυτές βρίσκονται σε διαφορετικές βαθμίδες της κλίμακας ζήτησης (Πίνακας 2.5), επομένως παρουσιάζεται αλλαγή στο χρώμα των υδρομέτρων. Ενδεικτικά στις Εικόνες 2.8 (α), (β), (γ) και (δ) αποτυπώνονται οι τιμές βάση της κλίμακας για τις ώρες 3, 9, 15 και 20. Οι απλοί κόμβοι έχουν σταθερή τιμή ίση με το μηδέν, καθώς εφαρμόζεται σε αυτούς το pattern 1.





Εικόνα 2.8: Μεταβολές ζήτησης

2.4 Εντοπισμός διαρροών με χρήση του WaterGEMS

Για τον εντοπισμό διαρροών στο δίκτυο έγινε χρήση του εργαλείου Darwin Calibrator του WaterGEMS. Το Darwin Calibrator χρησιμοποιεί γενετικό αλγόριθμο για την ανίχνευση των διαρροών. Έχει την δυνατότητα να προβλέψει την θέση και το μέγεθος της απώλειας νερού ρυθμίζοντας την τιμή του συντελεστή εκπομπής (emitter coefficient) στους κόμβους του δικτύου. Ο συντελεστής εκπομπής, απεικονίζει τον ρυθμό ροής μέσω ενός στομίου ή ανοίγματος σε μία δεδομένη πίεση και επιτρέπει στο μοντέλο να προσομοιώσει την ποσότητα της ροής που εξέρχεται από έναν κόμβο με βάση την πίεση του κόμβου[18].

Τα δεδομένα που χρειάζεται το Darwin Calibrator για να εκτελέσει την ανίχνευση διαρροών είναι οι πραγματικές μετρήσεις της υδραυλικής κλίσης (Hydraulic Grade) όλων των κόμβων του δικτύου και οι εκροές των αγωγών που συνδέουν τα ρεζερβουάρ με τις δεξαμενές. Επιπλέον, ορίζεται ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 0.5 για τον συντελεστή εκπομπής, η τιμή του οποίου καθορίζει το μέγεθος της πιθανής διαρροής. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα διαρροής στον συγκεκριμένο κόμβο ή κοντά σε αυτόν. Στον Πίνακα 2.8 παρουσιάζεται η κλίμακα που δημιουργήθηκε για την αποτύπωση του συντελεστή εκπομπής στο δίκτυο. Τέλος, καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός κόμβων που υπάρχει πιθανότητα να εμφανίσουν διαρροή.

Πίνακας 2.8: Κλίμακα συντελεστή εκπομπών

Value $\leq (L/min/(mH_2O)^n)$	Color
0.000	Black
0.100	Light Yellow
0.200	Yellow
0.300	Orange
0.400	Dark Orange
0.500	Red

Εκτελώντας την ανίχνευση διαρροών στο Darwin Calibrator, η τιμή του συντελεστή εκπομπής (emitter coefficient) στους κόμβους που υπάρχει πιθανότητα διαρροής αυξάνεται. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ της πραγματικής τιμής της υδραυλικής κλίσης και αυτή της προσομοίωσης για όλους τους κόμβους, και οι διαφορές μεταξύ της πραγματικής ροής και αυτή της προσομοίωσης των αγωγών. Τέλος, υπολογίζεται το fitness, η τιμή του οποίου κρίνει πόσο κοντά στις πραγματικές μετρήσεις είναι τα αποτελέσματα του Darwin Calibrator. Όσο μικρότερη τιμή έχει το fitness, τόσο καλύτερο είναι το αποτέλεσμα[19], [20].

Στην παρούσα διπλωματική, επειδή παρουσιάζεται η διαδικασία εύρεσης διαρροών, έχουν χρησιμοποιηθεί οι τιμές της υδραυλικής κλίσης των κόμβων και των εκροών των αγωγών 56 και 121 που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος και όχι από πραγματικές μετρήσεις. Επιπλέον για τους αγωγούς 56 και 121, οι οποίοι συνδέουν τις δεξαμενές με τα ρεζερβουάρ, έχει οριστεί ένας περιορισμός για τις ώρες κατά τις οποίες, λόγω των κανόνων για την τροφοδότηση των δεξαμενών, οι αγωγοί είναι κλειστοί. Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι κατά την εκτέλεση της ανίχνευσης διαρροών, το Darwin Calibrator κρατάει τους αγωγούς αυτούς κλειστούς και δεν προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την τιμή της ροής μέσω του γενετικού αλγορίθμου.

Ο εντοπισμός διαρροών έγινε με χρήση του pattern 2.1 στα υδρόμετρα και του pattern 1 στους απλούς κόμβους. Η διαδικασία εκτελέστηκε τις πρωινές ώρες όπου παρουσιάζεται η μικρότερη κατανάλωση. Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τις ώρες 3, 28 και 53.

Εντοπισμός διαρροών στις 3 ώρες

Εκτελώντας ανίχνευση διαρροών με χρήση του Darwin Calibrator για την ώρα 3 εντοπίζονται 64 κόμβοι με πιθανότητα διαρροής. Από αυτούς οι 12 παρουσιάζουν την μέγιστη δυνατή τιμή του συντελεστή εκπομπής, δηλαδή τα $0.500 \text{ L/min}/(\text{mH}_2\text{O})''$). Οι κόμβοι αυτοί θα πρέπει να εκλεχθούν πρώτοι, ώστε αποφευχθεί κάποια μεγάλη βλάβη. Το fitness της συγκεκριμένης λύσης ισούται με 1.431.



Εικόνα 2.9: Πιθανοί κόμβοι διαρροών στις 3 ώρες

Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζονται πάνω στο δίκτυο οι κόμβοι που ανιχνεύθηκαν ως πιθανοί για την ύπαρξη διαρροής κοντά τους. Ακολουθώντας την κλίμακα του συντελεστή εκπομπής (Πίνακας 2.8), οι κόμβοι με το κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν σε αυτούς με την μεγαλύτερη πιθανότητα για διαρροή, δηλαδή είναι αυτοί με τιμή συντελεστή εκπομπής ίση με $0.500 \text{ L/min}/(\text{mH}_2\text{O})^n$.

Εντοπισμός διαρροών στις 28 ώρες

Χρησιμοποιώντας το Darwin Calibrator για την ανίχνευση διαρροών στο δίκτυο, εντοπίζονται 79 κόμβοι με πιθανότητα διαρροής. Από αυτούς οι 18 παρουσιάζουν συντελεστή εκπομπής ίσο με $0.500 \text{ L/min}/(\text{mH}_2\text{O})^n$, επομένως αυτοί είναι οι κόμβοι που θα πρέπει να μελετηθούν πρώτοι, καθώς σε αυτούς παρουσιάζεται μεγαλύτερη πιθανότητα διαρροής. Το fitness που υπολογίζεται για τις 28 ώρες είναι 0.531.



Εικόνα 2.10: Πιθανοί κόμβοι διαρροών στις 28 ώρες

Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται όλοι οι κόμβοι που εντοπίστηκαν με πιθανότητα διαρροής. Ακολουθώντας την κλίμακα του Πίνακα 2.8, οι κόμβοι με κόκκινο χρώμα παρουσιάζουν την μεγαλύτερη πιθανότητα για διαρροή, ενώ αυτοί με το πιο ανοιχτό κίτρινο την μικρότερη πιθανότητα για ύπαρξη διαρροής.

Εντοπισμός διαρροών στις 53 ώρες

Για τις 53 ώρες, έγινε ανίχνευση διαρροών μέσω του εργαλείου Darwin Calibrator και εντοπίστηκαν 79 κόμβοι με πιθανότητα διαρροής, από τους οποίους οι 22 έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα διαρροής, καθώς η τιμή του συντελεστή εκπομπής που υπολογίστηκε ισούται με $0.500 \text{ L/min}/(\text{mH}_2\text{O})^n$. Οι συγκεκριμένοι 22 κόμβοι θα πρέπει να ελεγχθούν και να παρατηρούνται ώστε να αντιμετωπιστεί ή να αποφευχθεί κάποια διαρροή. Το fitness που υπολογίζεται για τις 28 ώρες είναι 9.770.



Εικόνα 2.11: Πιθανοί κόμβοι διαρροών στις 53 ώρες

Στην Εικόνα 2.11 παρουσιάζονται πάνω στο δίκτυο οι κόμβοι που εντοπίστηκαν ως πιθανοί για διαρροές κοντά τους. Σύμφωνα με την κλίμακα του Πίνακα 2.8 οι κόμβοι που εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα είναι αυτοί με την μεγαλύτερη πιθανότητα διαρροής.

Και στις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, το fitness παρουσιάζει αρκετά καλές τιμές. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν οριστεί ως πραγματικές μετρήσεις της υδραυλικής κλίσης αυτές που βρέθηκαν από την προσομοίωση, επομένως δεν εντοπίζονται μεγάλες διαφορές αναμεσά τους. Ωστόσο, επειδή δεν έχουν χρησιμοποιηθεί πραγματικά δεδομένα δεν μπορεί να θεωρούν αξιόπιστες οι θέσεις των πιθανών κόμβων για διαρροή.

3 Συμπεράσματα και προτεινόμενες λύσεις

3.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το υδατικό δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου με χρήση των λογισμικών WaterCAD και WaterGEMS. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα δύο λογισμικά ήταν ίδια, με το WaterGEMS να παρουσιάζει μικρότερο χρόνο εκτέλεσης. Το δίκτυο μελετήθηκε για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κατανάλωσης, για σταθερή, για μεταβαλλόμενη και για βηματική κατανάλωση, οι οποίες δημιουργήθηκαν με την χρήση του pattern 2, του pattern 2.1 και του pattern 2.2, αντίστοιχα. Το κάθε pattern παρουσίαζε διαφορετικές τιμές πολλαπλασιαστών, οι οποίες καθόρισαν την μεταβολή της κατανάλωσης ανά ώρα.

Οι δεξαμενές εμφάνισαν διαφορετικό ρυθμό μείωσης, λόγω της εφαρμογής των pattern. Στο pattern 2 παρατηρήθηκε σταθερός ρυθμός μείωσης, ενώ στα pattern 2.1 και 2.2 υπήρξαν διαφορετικοί ρυθμοί μείωσης ανάλογοι με την ζήτηση των υδρομέτρων. Όσο μεγαλύτερη ήταν η ζήτηση, τόσο μεγαλύτερος ήταν ο ρυθμός μείωσης της στάθμης των δεξαμενών. Ωστόσο, και στις τρεις περιπτώσεις η δεξαμενή PTM άδειαζε πιο γρήγορα σε σχέση με την δεξαμενή D4, καθώς τροφοδοτεί περισσότερα υδρόμετρα. Στους Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα τέσσερα υδρόμετρα του δικτύου που μελετήθηκαν για κάθε pattern.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα pattern 2

	Pattern 2							
	Υδρόμετρα							
	2100.0660		1470.0190		0390.0080		2960.0693	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Δεξαμενή	PTM		D4		PTM		D4	
Υψόμετρο (m)	38.85		35.53		8.30		41.38	
Υδραυλική κλίση (m)	58.99	63.07	100.49	101.98	52.01	56.08	100.90	102.39
Πίεση (kPa)	197.55	237.53	637.08	651.70	428.64	468.62	598.27	583.66

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα pattern 2.1

	Pattern 2.1							
	Υδρόμετρα							
	2100.0660		1470.0190		0390.0080		2960.0693	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Δεξαμενή	PTM		D4		PTM		D4	
Υψόμετρο (m)	38.85		35.53		8.30		41.38	
Υδραυλική κλίση (m)	51.65	74.61	96.96	107.37	39.79	74.40	97.68	107.37
Πίεση (kPa)	125.54	349.97	602.50	704.56	308.89	648.21	552.12	647.18

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα pattern 2.2

	Pattern 2.2							
	Υδρόμετρα							
	2100.0660		1470.0190		0390.0080		2960.0693	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Δεξαμενή	PTM		D4		PTM		D4	
Υψόμετρο (m)	38.85		35.53		8.30		41.38	
Υδραυλική κλίση (m)	47.59	72.08	95.15	106.22	33.83	70.38	95.99	106.28
Πίεση (kPa)	85.77	325.92	584.72	693.26	250.43	608.79	535.53	636.48

Η πίεση των υδρομέτρων επηρεάζεται από το υψόμετρο τους και από την στάθμη των δεξαμενών. Μεγαλύτερο υψόμετρο έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη πίεση. Αυτό παρατηρείται και στα τρία pattern αν γίνει σύγκριση μεταξύ των υδρομέτρων που τροφοδοτούνται από την ίδια δεξαμενή. Το υδρόμετρο 2100.0660 που βρίσκεται σε ύψος 38.85 m παρουσιάζει μικρότερες τιμές πίεσης σε σχέση με το υδρόμετρο 0390.0080 που βρίσκεται σε υψόμετρο 8.30 και τροφοδοτούνται και τα δύο από την δεξαμενή PTM. Αντίστοιχα, το υδρόμετρο 2960.0693 παρουσιάζει μικρότερη πίεση σε σχέση με το 1470.0190, καθώς το πρώτο βρίσκεται στα 41.38 m και το δεύτερο στα 35.53 m και τροφοδοτούνται από την δεξαμενή D4. Επιπλέον, η πίεση επηρεάζεται από την ζήτηση των υδρομέτρων. Στο pattern 2 όπου η ζήτηση είναι σταθερή παρατηρείται σταθερός ρυθμός μείωση της πίεσης. Τα υδρόμετρα 2100.0660 και 0390.0080 παρουσιάζουν μια απότομη αύξηση λόγω της δεύτερης τροφοδότησης της δεξαμενής PTM και στην συνέχεια μειώνονται ξανά με σταθερό ρυθμό. Στα pattern 2.1 και 2.2 η πίεση μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα

με την ζήτηση και παρουσιάζει μείωση της τιμής της για το χρονικό διάστημα που η ζήτηση έχει σταθερή τιμή. Η υδραυλική κλίση, καθώς επηρεάζεται κυρίως από την πίεση, εμφανίζει ίδια πορεία με αυτήν, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η ζήτηση τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του. Επομένως, η ζήτηση, η στάθμη των δεξαμενών και το υψόμετρο των υδρομέτρων επηρεάζουν την πίεση και την υδραυλική κλίση τους. Το σταθερό pattern 2 παρουσίασε μικρότερη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και την ελάχιστης τιμής της πίεσης και της υδραυλικής κλίσης, σε σχέση με τα μεταβαλλόμενα pattern 2.1 και 2.2. Αυτό αποτυπώνεται και στα στιγμιότυπα του δικτύου που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2, όπου υπάρχουν περισσότερες χρωματικές αλλαγές στα δύο τελευταία patterns, λόγω των μεταβολών των βαθμίδων της κλίμακας της πίεσης του Πίνακα 2.6. Επιπλέον, πιο έντονες είναι και οι αλλαγές στην ροή των αγωγών, λόγω των διακυμάνσεων της ζήτησης.

Το δίκτυο, λοιπόν, λειτουργεί ικανοποιητικά και για τα τρία διαφορετικά pattern που μελετήθηκαν, χωρίς να παρουσιάζει πρόβλημα υποπίεσης ή υπερπίεσης σε κάποιο από αυτά και με τους αγωγούς που συνδέουν τα ρεζερβουάρ με τις δεξαμενές να λειτουργούν σύμφωνα με τους κανόνες που έχουν δημιουργηθεί.

Στο κεφάλαιο 2.4 παρουσιάστηκε η μέθοδος για την ανίχνευση διαρροών στο δίκτυο με χρήση του εργαλείου Darwin Calibrator. Χρησιμοποιήθηκε το pattern 2.1, ώστε να υπάρχουν μεταβολές στην ζήτηση. Οι πρωινές ώρες είναι πιο κατάλληλες για την διαδικασία αυτή, καθώς τότε η ζήτηση παίρνει την ελάχιστη τιμή της. Για την ανίχνευση διαρροών μελετήθηκαν οι μεταβολές των τιμών του συντελεστή εκπομπής, η τιμή του οποίου καθορίζει το μέγεθος της πιθανότητας διαρροής. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του συντελεστή, τόσο πιο μεγάλη η πιθανότητα. Ελέγχθηκαν οι διαρροές για τρεις διαφορετικές ώρες της προσομοίωσης, όπου βρέθηκαν 64, 79 και 79 κόμβοι με πιθανότητα διαρροής από τους οποίους οι 12, οι 18 και οι 22, αντίστοιχα, παρουσίασαν την μέγιστη τιμή του συντελεστή εκπομπής, δηλαδή τα $0.500 \text{ L/min}/(\text{mH}_2\text{O})^n$). Επειδή χρησιμοποιήθηκαν ως πραγματικά δεδομένα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, το fitness και στις τρεις περιπτώσεις ήταν αρκετά μικρό, καθώς δεν εντοπίζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των τιμών. Τα αποτελέσματα, επομένως, για τις θέσεις των διαρροών δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα.

3.2 Προτεινόμενες λύσεις

Για την καλύτερη ανίχνευση και αντιμετώπιση των διαρροών θα πρέπει, αρχικά, να εισαχθούν στα λογισμικά οι πραγματικές τιμές ζήτησης των υδρομέτρων του δικτύου, ώστε να υπολογιστούν σύμφωνα με αυτές οι πιέσεις των κόμβων. Οι τιμές αυτές της πίεσης μπορεί να εμφανίσουν σημεία του δικτύου όπου υπάρχει πρόβλημα υποπίεσης ή υπερπίεσης. Το δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου, καθώς είναι ένα βαρυτικό δίκτυο, επιτυγχάνει την ροή νερού μέσω της υψομετρικής διαφοράς ανάμεσα στα σημεία παροχής και στα σημεία κατανάλωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τιμή της πίεσης να εμφανίζει μεγάλες

διακυμάνσεις λόγω της ζήτησης και του υψόμετρου των υδρομέτρων, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει περισσότερες διαρροές. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να προστεθεί στο δίκτυο ένα κατάλληλα σχεδιασμένο αντλιοστάσιο, ώστε να καλύπτει της ανάγκες της πόλης. Η προσθήκη αυτή μπορεί να εξασφαλίσει τα εξής:

- καλύτερη υδροδότηση των υδρομέτρων που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο
- δυνατότητα απομόνωσης περιοχών που έχουν εμφανίσει κάποια βλάβη
- πιο σταθερή πίεση στο δίκτυο.

Η καλύτερη διατήρηση της πίεσης του δικτύου, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των διαρροών, καθώς το δίκτυο δεν καταπονείται τόσο από πολύ υψηλές πιέσεις. Με την χρήση της πραγματικής ζήτησης και των πραγματικών μετρήσεων της υδραυλικής κλίσης στο Darwin Calibrator, θα είναι δυνατή η ανίχνευση των πιθανών θέσεων διαρροών στο δίκτυο της παλιάς πόλης του Ηρακλείου. Ο εντοπισμός αυτός θα μπορέσει να αποτρέψει την εμφάνιση μεγάλων βλαβών στο δίκτυο και την καλύτερη συντήρησή του, που θα οδηγήσει στην μείωση του μη ανταποδοτικού νερού.

Ένας άλλος τρόπος για την μείωση των διαρροών στο δίκτυο είναι η αντικατάσταση των τμημάτων του δικτύου και η καλύτερη συντήρησή τους. Όπως σε όλη την Κρήτη, έτσι και στο Ηράκλειο, το δίκτυο ύδρευσης είναι αρκετά παλιό, με αποτέλεσμα να υπάρχουν φθορές. Η κατάσταση του δικτύου συμβάλει στην αύξηση του ποσοστού του μη τιμολογούμενου νερού που εμφανίζεται. Η αντικατάσταση του δικτύου με ένα πιο σύγχρονο από το οποίο θα υπάρχει δυνατότητα σωστής μέτρησης διαφόρων χρήσιμων τιμών για το δίκτυο, όπως πίεση και ροή, θα συμβάλει σημαντικά στην καλύτερη ποιότητα του νερού και στην μείωση των απωλειών. Εκτός από τον περιορισμό των διαρροών, ένα πιο σύγχρονο δίκτυο, θα έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει παράνομες συνδέσεις και κλοπή νερού, καθώς επίσης και παραποιήσεις μετρήσεων των υδρομέτρων.

Οι παραπάνω λύσεις είναι κάποιες από τις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν, ώστε να βελτιωθεί το υδατικό σύστημα της παλιάς πόλης του Ηρακλείου και να περιοριστούν η διαρροές και το ποσοστό του μη τιμολογούμενου νερού.

Βιβλιογραφία

- [1] D. Pearson, *Standard Definitions for Water Losses*. IWA Publishing, 2019. doi: 10.2166/9781789060881.
- [2] Γ. Δ. Ύδρευσης, “ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΗ ΑΝΤΑΠΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (NRW) ΕΥΔΑΠ Α.Ε. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ.”
- [3] “Ελληνική Στατιστική Αρχή.” Available: <https://www.statistics.gr/2021-census-res-pop-results>
- [4] “Ηράκλειο.” Available: <https://el.wikipedia.org>
- [5] “GEODATA.” Available: <http://www.geodata.gov.gr>
- [6] “Δήμος Ηρακλείου.” Available: <https://www.heraklion.gr/>
- [7] “Όργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε.” Available: <https://oakae.gr/>
- [8] B. Kingdom, G. Soppe, and J. Sy, “What is non-revenue water? How can we reduce it for better water service?” Available: <https://blogs.worldbank.org>
- [9] L. Warming, “Fighting Non-Revenue Water With Smart Metering.” Available: <https://www.kamstrup.com>
- [10] H. T. Abueltayef, K. S. Abualhin, and K. M. Alastal, “Addressing non-revenue water as a global problem and its interlinkages with sustainable development goals,” *Water Pract Technol*, vol. 18, no. 12, pp. 3175–3202, Dec. 2023, doi: 10.2166/wpt.2023.157.
- [11] “SmartLIK.” Available: <https://smartlik.gr/>
- [12] “Ελληνική Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης.” Available: <https://www.apdkritis.gov.gr>
- [13] “Bentley Help WaterCAD.” Available: <https://docs.bentley.com>
- [14] “CTtec.” Available: <https://www.cttec.ae>
- [15] “Bentley Help WaterGEMS.” Available: <https://docs.bentley.com>
- [16] “Bentley Communities.” Available: <https://bentleysystems.service-now.com>
- [17] O. Watergems, “PRODUCT DATA SHEET OpenFlows™ WaterGEMS® Water Distribution Modeling and Management,” 2023.
- [18] “Options for modeling an outflow that varies with pressure.” Available: <https://bentleysystems.service-now.com>

- [19] “Performing Leakage Detection Using Darwin Calibrator.” Available:
<https://bentleysystems.service-now.com>
- [20] “Tips for Water Loss Management and Leak Detection.” Available:
<https://bentleysystems.service-now.com>