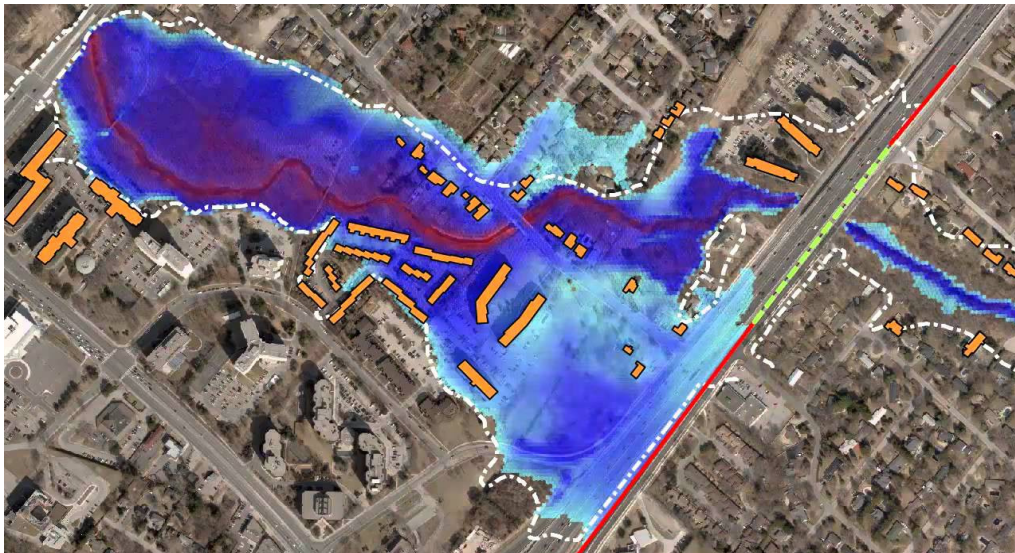




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην αστική λεκάνη της  
Ραφήνας**



**Γιοβάνη Μαρία-Ευαγγελία**

Επιβλέπων: Ι. Ναλμπάντης, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, 2013

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Ευχαριστίες</b>	<b>iv</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Κατάλογος συμβόλων</b>	<b>ix</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος .....	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	2
<b>2 Μεθοδολογία Εκτίμησης Πλημμύρας</b>	<b>3</b>
2.1 Γενικά .....	3
2.2 Προσδιορισμός της βροχόπτωσης σχεδιασμού .....	3
2.2.1 Όμβριες καμπύλες.....	3
2.2.2 Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού.....	5
2.3 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης .....	6
2.3.1 Γενικά.....	6
2.3.2 Ο συντελεστής απορροής $C$ .....	6
2.3.3 Μέθοδος SCS.....	8
2.3.4 Η ορθολογική μέθοδος.....	11
2.3.5 Το υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος και οι συνιστώσες του .....	12
2.3.6 Διόδευση πλημμύρας- Γενική περιγραφή .....	14
2.4 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης με δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων υδάτων.....	15
2.4.1 Γενικά.....	15
2.4.2 Βασικές εξισώσεις μόνιμης ροής .....	16
2.4.3 Απώλειες τριβής.....	17
2.4.4 Υπολογισμός ομοιόμορφης ροής σε σωλήνες κυκλικής διατομής .....	18
2.4.5 Μεθοδολογία σχεδιασμού και προδιαγραφές αγωγών αποχέτευσης ομβρίων σε συνθήκες μόνιμης ροής .....	21
2.4.6 Μοντελοποίηση της λειτουργίας δικτύου ομβρίων υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής.....	22
2.4.7 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής με ελεύθερη επιφάνεια .....	23
2.4.8 Ιδιότητες υποκρίσιμης και υπερκρίσιμης ροής και κρίσιμο βάθος .....	25
2.4.9 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής υπό πίεση για ασυμπίεστα ρευστά .....	28
2.4.10 Διόδευση δυναμικού κύματος.....	29
2.4.11 Διόδευση κινηματικού κύματος.....	29
<b>3 Περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε</b>	<b>31</b>

3.1	Γενικά.....	31
3.2	Δυνατότητες Προσομοίωσης.....	31
3.3	Περιγραφή του λογισμικού.....	32
3.4	Ενότητες Λειτουργίας.....	32
3.5	Τα αντικείμενα του SWMM.....	35
3.5.1	Τα οπτικά αντικείμενα του SWMM.....	35
3.5.2	Τα μη οπτικά αντικείμενα του SWMM .....	39
3.5.3	Υπολογιστικές μέθοδοι .....	39
3.6	Επιλογές προσομοίωσης.....	42
3.6.1	Επιλογές προσομοίωσης .....	43
3.6.2	Επιλογές χρόνων έναρξης και λήξης της πλημμύρας (Date options).....	43
3.6.3	Επιλογές χρονικού βήματος (Time Step Options) .....	44
3.6.4	Επιλογές για τη διόδευση του δυναμικού κύματος.....	44
3.7	Το λογισμικό ArcGIS 10.1 .....	45
3.7.1	Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....	45
3.8	Το λογισμικό AutoCAD .....	45
3.8.1	Δημιουργία των αστικών λεκανών.....	45
<b>4</b>	<b>Η περιοχή μελέτης</b>	<b>47</b>
4.1	Γενική Περιγραφή .....	47
4.2	Περιγραφή της κατάστασης με την πρόσφατη αναβάθμιση του δικτύου αποχέτευσης ομβρίων.....	48
4.2.1	Βασικές παραδοχές της μελέτης .....	48
4.2.2	Πορεία εργασιών.....	50
4.2.3	Σχεδιασμός των λεκανών απορροής .....	50
4.2.4	Κάλυψη γης και χρήσεις γης.....	58
4.2.5	Καταχώρηση χαρακτηριστικών παραμέτρων αστικών λεκανών στο SWMM .....	61
4.2.6	Υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης.....	63
4.2.7	Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης .....	63
4.2.8	Αναπαράσταση του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου.....	63
4.3	Προσομοίωση του δυαδικού δικτύου αποχέτευσης.....	69
4.3.1	Γενικά.....	69
4.3.2	Υψομετρική θέση των επιφανειακών αγωγών.....	69
4.3.3	Διατομή επιφανειακών αγωγών .....	72
<b>5</b>	<b>Αποτελέσματα</b>	<b>75</b>
5.1	Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού .....	75
5.2	Περίπτωση με το απλό αποχετευτικό σύστημα.....	85
5.2.1	Γενικά.....	85
5.2.2	Περίπτωση με το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο.....	86
	(Περίπτωση Ι) .....	86

5.2.3	Εφαρμογή βροχοπτώσεων μεγάλης περιόδου επαναφοράς στο απλό αποχετευτικό δίκτυο.....	89
5.2.4	Εφαρμογή βροχοπτώσεων περιόδου επαναφοράς 1000 ετών στο απλό αποχετευτικό δίκτυο.....	95
5.2.5	Μοντελοποίηση του βάθους ροής σε αγωγό του δικτύου για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 1000 ετών.....	99
5.3	Περίπτωση με το δυαδικό σύστημα.....	103
5.3.1	Γενικά.....	103
5.3.2	Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο του αποχετευτικού συστήματος.....	103
5.3.3	Προσδιορισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε επιλεγμένους αγωγούς για πλημμυρικό γεγονός 25 ετών.....	106
5.3.4	Προσδιορισμός πλημμυρικών φαινομένων διαφόρων περιόδων επαναφοράς στο τμήμα της οδού Φλέμινγκ.....	112
5.3.5	Συνολικός όγκος νερού στο σύστημα.....	122
5.4	Αποτελέσματα εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου στο σύνολο της περιοχής μελέτης.....	123
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>127</b>
6.1	Γενικά.....	127
6.2	Δυσκολίες στη μοντελοποίηση του δικτύου.....	127
6.3	Συμπεράσματα από την προσομοίωση του πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη της Ραφήνας.....	128
	<b>Αναφορές</b>	<b>131</b>
	Στην ελληνική γλώσσα.....	131
	Ξενόγλωσσες.....	131
	Διαδίκτυο.....	132
	<b>Παράρτημα 1: Πίνακες</b>	<b>133</b>
	<b>Παράρτημα 2: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο της λεκάνης</b>	<b>163</b>
	<b>Παράρτημα 3: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο της λεκάνης του δυαδικού συστήματος</b>	<b>169</b>
	<b>Παράρτημα 4: Διατομές επιφανειακών αγωγών</b>	<b>175</b>
	<b>Παράρτημα 5: Χάρτες αναπαράστασης του συνολικού δικτύου</b>	<b>179</b>



## Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Ναλμπάντη, επίκουρο καθηγητή, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την αμέριστη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Ινώ Παπαγεωργάκη για τις πολύτιμες συμβουλές της στο λογισμικό ArcGIS.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον κ. Βασίλειο Σκρέκα, Τοπογράφο Μηχανικό της τεχνικής υπηρεσίας του Δήμου για τα δεδομένα και τις πληροφορίες που μου παρείχε.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Αγγελίδη, επίκουρο καθηγητή, για τα βιβλία και τις οδηγίες που μου παρείχε για το λογισμικό SWMM.

## Περίληψη

---

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στις αστικές λεκάνες απορροής. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η αστική περιοχή της Ραφήνας. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη μελέτη της περιοχής και με τη χρήση του λογισμικού SWMM, μοντελοποιήθηκε το σύστημα αποχέτευσης ομβρίων και διερευνήθηκε η υδραυλική συμπεριφορά του κατά την εμφάνιση ισχυρών καταιγίδων διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς. Για την προσομοίωση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του δυναμικού κύματος, ώστε να προσεγγίζονται στον καλύτερο δυνατό βαθμό οι πραγματικές συνθήκες, αφού η θεωρία αυτή βασίζεται στην εφαρμογή των φυσικών νόμων της μη μόνιμης ροής σε ανοιχτούς αγωγούς. Πρώτο στάδιο της εφαρμογής αυτής αποτελεί ο σχεδιασμός των ορίων των αστικών λεκανών με χρήση του λογισμικού ArcGIS, ενώ στη συνέχεια εισήχθησαν στο λογισμικό όλα τα φρεάτια, οι αγωγοί και τα τελικά σημεία εκβολής του αποχετευτικού δικτύου με τα πλήρη υδραυλικά τους χαρακτηριστικά. Τα γεγονότα βροχόπτωσης που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο με τη μορφή υετογραμμάτων, για διάρκειες 1, 3, 6, 12 h και περιόδους επαναφοράς 5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 ετών με χρονικό βήμα 10 λεπτών και με βάση υπάρχουσα ενιαία εξίσωση ομβρίων. Μετά από την μοντελοποίηση του υπόγειου αποχετευτικού συστήματος, είναι εφικτός ο υπολογισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών των αγωγών όπως η παροχή, το βάθος ροής, η ταχύτητα ροής και ο αριθμός Froude, για οποιαδήποτε χρονική στιγμή και για οποιοδήποτε γεγονός. Παρόλα αυτά, το αποχετευτικό σύστημα έχει την ικανότητα ασφαλούς παροχέτευσης μέχρι και για γεγονότα βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 25 ετών. Εφαρμόζοντας λοιπόν πλημμυρικά φαινόμενα μεγαλύτερων περιόδων επαναφοράς πολλοί αγωγοί του συστήματος προβλέπεται να υπερφορτιστούν και να πλημμυρίσουν και η ασφαλής διόδυσή τους να καθίσταται αδύνατη. Η ανάγκη λεπτομερούς μελέτης της απόκρισης των αστικών λεκανών, κατά τη διάρκεια σπάνιων γεγονότων ισχυρής βροχόπτωσης οδηγεί στη θεώρηση ενός πολύπλοκου αποχετευτικού συστήματος, του λεγόμενου δυαδικού συστήματος αποχέτευσης. Αυτό είναι ένα σύστημα που αποτελείται από δύο παράλληλα δίκτυα, το δίκτυο υπογείων αγωγών και το δίκτυο των επιφανειακών ανοιχτών αγωγών με τυπική διατομή αυτή των δρόμων. Με αυτόν τον τρόπο, στην περίπτωση που πλημμυρίζει το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο, τότε η ροή πραγματοποιείται στο επιφανειακό. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, το σύστημα που είναι προς διερεύνηση εστιάζει στα παρακάτω θέματα: Αρχικά στην παραγωγή υδρογραφημάτων απορροής στις εξόδους του συστήματος για όλα τα πλημμυρικά γεγονότα, έπειτα στον προσδιορισμό των υδραυλικών μεγεθών για κάθε αγωγό του δικτύου κάθε χρονική στιγμή του γεγονότος βροχόπτωσης (το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής των αποτελεσμάτων μέχρι και κάθε δευτερόλεπτο) και, τέλος, στη διόδυση της πλημμύρας τόσο για μικρά όσο και για μεγάλα γεγονότα βροχόπτωσης. Η περιοχή μελέτης εξετάστηκε μόνον όσον αφορά στο αστικό κομμάτι και άρα στην αστοχία του δικτύου αποχέτευσης όμβριων υδάτων και όχι στην αστοχία του ρέματος της Ραφήνας το οποίο επίσης μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις. Κατόπιν μοντελοποίησης της λεκάνης με το λογισμικό SWMM εφαρμόστηκαν σε αυτήν τα παραπάνω υετογράμματα σχεδιασμού. Βασικό εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι μία σειρά από υδρογραφήματα απορροής στην έξοδο εκτιμώντας τον πλημμυρικό κίνδυνο της περιοχής.



# Abstract

---

The aim of this study is the assessment of flood hazard in urban basins. The study area is the city of Rafina. Based on data from a hydraulic study of the above areas and with the aid of the SWMM software, the stormwater drainage system was modeled and its hydraulic performance was studied for flood events of different durations and recurrence intervals. For the simulation of the system, the dynamic wave method was applied. The latter provides the best approximation of the system operation since it is based on physical laws of unsteady flow in open channels. Firstly, the urban sub-basins were delineated using the ArcGIS software by considering both the natural hydrographic network and the man-made drainage system in the area. Afterwards, all the manholes, conduits and outfalls of the drainage system were inserted in the software package together with their hydraulic characteristics. Design hyetographs for rainfall events were constructed with durations of 1, 3, 6 and 12h and recurrence intervals of 5, 10, 25, 50, 100, 1000 and 10000 years. The time step was 10 minutes and the generalized equation of the IDF curves from an existing hydraulic study was used. After modeling the simple drainage system, several hydraulic quantities such as discharge, flow depth, flow velocity and Froude number were computed for every flood event. However, the drainage system is able to safely convey water only for recurrence intervals below 25 years. For larger recurrence intervals some conduits are surcharged and manholes are flooded. In order to study these phenomena, a more complicated drainage system, the so-called dual system was used. This consists of two parallel networks: one network of underground pipes and a network of open, surface channels with the cross section of a typical street. When the pipe system is surcharged and flooded, water flows on streets. The dual drainage system is extensively investigated and results are drawn in the form of flow, velocity and stage hydrographs.



## Κατάλογος συμβόλων

$f$	Αδιάστατος συντελεστής τριβής
$F$	Αθροιστικό ύψος διήθησης
$c$	Ανά μονάδα βάρους ενέργεια του νερού
$h_f$	Απώλειες ενέργειας
$Fr$	Αριθμός Froude
$Re$	Αριθμός Reynolds
$CN$	Αριθμός καμπύλης απορροής
$\theta_i$	Αρχική εδαφική υγρασία
$\delta_p$	Βάθος αποθήκευσης ύδατος
$y$	Βάθος ροής
$\delta$	Βάθος ύδατος
$P$	Βρεχόμενη περίμετρος
$D$	Διάμετρος
$t$	Διάρκεια βροχόπτωσης
$f_s$	Διηθητική ικανότητα εδάφους
$H_0$	Ειδική ενέργεια
$\gamma$	Ειδικό βάρος
$A$	Έκταση λεκάνης απορροής
$f_c$	Ελάχιστη τιμή διηθητικής ικανότητας του εδάφους
$\Delta\theta$	Έλλειμμα υγρασίας
$A_w$	Εμβαδόν υγρής διατομής
$i$	Ένταση βροχόπτωσης
$g$	Επιτάχυνση της βαρύτητας
$k$	Ισοδύναμη τραχύτητα των τοιχωμάτων του αγωγού
$\nu$	Κινηματική συνεκτικότητα
$S_f$	Κλίση γραμμής ενέργειας (ή κλίση τριβής)
$S_0$	Κλίση τυθμένα αγωγού
$S$	Κλίση υπολεκάνης
$H_c$	Κρίσιμη τιμή ειδικής ενέργειας
$f_0$	Μέγιστη τιμή της διηθητικής ικανότητας του εδάφους
$L$	Μήκος αγωγού
$H$	Ολική ενέργεια
$\beta$	Παράγοντας διόρθωσης της κατανομής της ταχύτητας στην εξίσωση δυναμικού κύματος
$\eta, \theta, \psi, \lambda, \kappa$	Παράμετροι ομβρίων καμπυλών
$Q_{\max}$	Παροχή αιχμής
$Q_0$	Παροχή για ολική πλήρωση

$Q$	Παροχή εκροής
$T$	Περίοδος επαναφοράς
$\rho$	Πίεση
$B$	Πλάτος διατομής στην ελεύθερη επιφάνεια
$W$	Πλάτος επίγειας ροής
$r(x,t)$	Πλευρική εισροή (παροχή ανά μονάδα μήκους)
$n$	Πορώδες εδάφους
$C_0$	Συντελεστής Hazen-Williams
$C$	Συντελεστής απορροής
$k_d$	Συντελεστής απόσβεσης
Dstore-Imperv	Συντελεστής επιφανειακής συγκράτησης αδιαπέρατων τμημάτων
Dstore- Perv	Συντελεστής επιφανειακής συγκράτησης διαπερατών τμημάτων
$a$	Συντελεστής στείρευσης
N-inperv	Συντελεστής τραχύτητας αδιαπέρατων τμημάτων
N-perv	Συντελεστής τραχύτητας διαπερατών τμημάτων
$n$	Συντελεστής τραχύτητας κατά Manning
$n_0$	Συντελεστής τραχύτητας κατά Manning για ολική πλήρωση
$V$	Ταχύτητα
$V_k$	Ταχύτητα κατά τη διεύθυνση $k$
$K$	Υδραυλική αγωγιμότητα
$R$	Υδραυλική ακτίνα
$z$	Υψόμετρο πυθμένα
$h_R$	Ύψος περισσεύματος βροχόπτωσης

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην αστική λεκάνη απορροής με χρήση του λογισμικού SWMM. Η λεκάνη που μελετάται είναι αυτή της Ραφήνας. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται μία προσπάθεια για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας σε αστικές λεκάνες καθώς και η υδρολογική και υδραυλική απόκριση αυτών κάτω από τυπικά συνθετικά γεγονότα βροχόπτωσης. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας αυτής είναι οι μελέτες του δικτύου αποχέτευσης της τεχνικής υπηρεσίας του δήμου, ενώ τα δεδομένα για τη χάραξη τόσο των αστικών όσο και των περιαστικών λεκανών αντλήθηκαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Κτηματολόγιο Α.Ε. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε το 2006 στην οποία εφαρμόστηκε η ορθολογική μέθοδος για τη διαστασιολόγηση των αγωγών. Όσον αφορά τους υφιστάμενους αγωγούς, τα δεδομένα ήταν περιορισμένα και προκειμένου να είναι εφικτή η εισαγωγή τους στο λογισμικό, έγιναν κάποιες παραδοχές. Επίσης, το έτος 2010 πραγματοποιήθηκε επέκταση του δικτύου σε κάποια τμήματα της περιοχής μελέτης και επειδή τα στοιχεία και για αυτήν την μελέτη ήταν περιορισμένα, πραγματοποιήθηκε καταγραφή των φρεατίων μετά από επιτόπου παρατήρηση και τα υδραυλικά στοιχεία αυτών εκτιμήθηκαν ανά περίπτωση σύμφωνα με τα γνωστά στοιχεία των γειτονικών αγωγών. Ύστερα από τον υδραυλικό σχεδιασμό του συστήματος στο λογισμικό SWMM, εφαρμόστηκε σε αυτό η όμβρια καμπύλη που επιλέχθηκε επιλύοντας το δίκτυο με την υπολογιστική μέθοδο της δυναμικής διόδευσης σε συνθήκες ανομοιομορφης και μη μόνιμης ροής, σε αντίθεση με την ορθολογική μέθοδο όπου γίνεται η παραδοχή μόνιμης και ομοιομορφης ροής. Στη συνέχεια, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ευρύτερη παρακολούθηση των πλημμυρικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης συντέθηκαν και εφαρμόστηκαν υετογράμματα βροχόπτωσης διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς, τα οποία προέκυψαν με βάση την ενιαία εξίσωση ομβρίων καμπυλών που ισχύει για την περιοχή του ρέματος της Ραφήνας. Η ανάγκη λεπτομερούς παρατήρησης του συστήματος αποχέτευσης κάτω από τις συνθήκες διάφορων γεγονότων βροχόπτωσης σχεδιασμού, αλλά και πολύ μεγαλύτερων περιόδων επαναφοράς οδηγεί στον σχεδιασμό ενός πολυπλοκότερου συστήματος του δυαδικού αποχετευτικού συστήματος. Σχεδιάζοντας με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών καθώς έτσι λειτουργεί ταυτόχρονα και το υπόγειο δίκτυο και το επιφανειακό δίκτυο των δρόμων. Σύμφωνα λοιπόν με αυτά είναι εφικτή η διοχέτευση του νερού προς τα κατάντη για οποιοδήποτε πλημμυρικό γεγονός, ανεξάρτητα από την περίοδο επαναφοράς. Αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι μία σειρά υδρογραφημάτων για όλα τα πλημμυρικά γεγονότα στις εξόδους. Τέλος, όπως είναι προφανές με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς αναμένονται πολύ εντονότερα γεγονότα βροχόπτωσης, άρα και μεγαλύτερος όγκος απορροής. Συνεπώς, βασικός στόχος είναι να προσδιοριστεί πώς αποκρίνεται το σύστημα σε μείζονα πλημμυρικά φαινόμενα από 50 έως 10000 χρόνια.



## 1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η εισαγωγή. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι μεθοδολογίες της Υδραυλικής και της Υδρολογίας και οι τρόπους που αυτές εφαρμόζονται στις αστικές λεκάνες για την εκτίμηση της πλημμύρας σχεδιασμού. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του λογισμικού SWMM που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του δικτύου αποχέτευσης ομβρίων. Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η περιγραφή του λογισμικού ArcGIS και AutoCAD που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και για τη χάραξη των αστικών και υπεραστικών υπολεκανών καθώς και για την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης και αναλύεται αρχικά η περιοχή μελέτης με το δίκτυο αποχέτευσης και, στη συνέχεια, πραγματοποιείται η προσομοίωση του δυαδικού συστήματος. Στο έκτο κεφάλαιο αρχικά αναλύονται τα υετογράμματα σχεδιασμού που προέκυψαν από την όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του συστήματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν για κάθε περίπτωση του συστήματος. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μοντελοποίηση του συστήματος αποχέτευσης. Στα παραρτήματα που επισυνάπτονται παρατίθενται στο Παράρτημα 1 τα υετογράμματα σχεδιασμού που προέκυψαν, και στα παραρτήματα 2 και 3 τα υδρογραφήματα απορροής στις εξόδους της λεκάνης. Στο Παράρτημα 4 δίνονται οι διατομές των επιφανειακών αγωγών και στο Παράρτημα 5 παρουσιάζονται χάρτες αναπαράστασης του δικτύου.

## 2 Μεθοδολογία Εκτίμησης Πλημμύρας

---

### 2.1 Γενικά

Με τον όρο πλημμύρα σε μία αστική λεκάνη ορίζεται το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή είναι τόσο σημαντική ώστε η χωρητικότητα ενός συστήματος αποχέτευσης να μην μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Η βασικότερη από τις αιτίες εμφάνισης πλημμυρών είναι οι καταιγίδες. Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου, δηλαδή της περιόδου επαναφοράς καθώς και της διάρκειας της βροχόπτωσης. Συνεπώς, με την αύξηση αυτών των δύο μεταβλητών αυξάνεται και ο κίνδυνος πλημμύρας σε μία αστική λεκάνη. Παράλληλα όμως, η έντονη αστικοποίηση, η κατάργηση σημαντικού μέρους του υδρογραφικού δικτύου και ο περιορισμός της παροχτευτικότητας των φυσικών ρεμάτων με την κάλυψή τους ενέτειναν το πρόβλημα των πλημμυρών. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, καθίσταται απαραίτητη η αντιπλημμυρική προστασία (Οδηγία Ε.Ε. 2007/60) των αστικών λεκανών. Η οδηγία 2007/60 έχει σα σκοπό την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων και καλύπτει κάθε τύπο πλημμύρας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσα από το σωστό σχεδιασμό και την κατασκευή υπογείων αγωγών, ώστε να διοχετεύουν με ασφάλεια τις πλημμυρικές απορροές.

### 2.2 Προσδιορισμός της βροχόπτωσης σχεδιασμού

#### 2.2.1 Όμβριες καμπύλες

Προκειμένου να σχεδιαστούν τα αντιπλημμυρικά έργα απαιτείται ο προσδιορισμός του όγκου της βροχόπτωσης και της χωροχρονικής κατανομής αυτού στην περιοχή μελέτης. Βασικά χαρακτηριστικά που συνθέτουν τη βροχόπτωση είναι η ένταση, η διάρκεια και η περίοδος επαναφοράς. Οι σχέσεις μεταξύ αυτών των μεγεθών απεικονίζονται στις καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς της βροχόπτωσης ή αλλιώς, όπως αποκαλούνται, όμβριες καμπύλες. Η κατάρτιση των καμπυλών αυτών είναι απαραίτητη για την εκτίμηση των παροχών ομβρίων καθώς προβλέπεται η ένταση της βροχής  $i$  για δεδομένη διάρκεια βροχόπτωσης  $t$  και δεδομένη περίοδο επαναφοράς  $T$ . Η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή είναι αυτή που προκύπτει από αντίστοιχα βροχογραφικά δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής. Όπως είναι προφανές, δεν υπάρχουν καμπύλες γενικής εφαρμογής, ανεξάρτητες των τοπικών συνθηκών. Οι καμπύλες αυτές κατασκευάζονται σύμφωνα με τη μέθοδο ενοποίησης των διαρκειών. Όλες οι όμβριες καμπύλες περιγράφονται από μία απλή συναρτησιακή σχέση της μορφής:

$$i = \frac{a(T)}{b(t)} \quad (2.1)$$

Όπου  $a(T)$  και  $b(t)$  είναι συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και διάρκειας αντίστοιχα. Ο παρονομαστής  $b(t)$  δίνει το μέτρο της μεταβολής της έντασης σε σχέση με την διάρκεια  $d$ . Η συνάρτηση  $b(t)$  έχει κατά κανόνα τη γενική μορφή:

$$b(t) = (t + \theta)^n \quad (2.2)$$

Όπου  $\theta$  η παράμετρος που η τιμή της εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς. Σύμφωνα με μία εμπειρική θεώρηση, ο αριθμητής της εξίσωσης 2.1  $a(T)$  μπορεί να πάρει κάποια από τις ακόλουθες μορφές:

$$\alpha(T) = \lambda T^\kappa \quad (2.3)$$

$$\alpha(T) = i = \frac{1}{\lambda} (\psi + \ln T) \quad (2.4)$$

όπου  $\kappa$ ,  $\lambda$  και  $\psi$  οι αριθμητικές παράμετροι. Μία θεώρηση που προσδιορίζει τη συνάρτηση κατανομής της μέγιστης έντασης βροχής. Για συναρτήσεις κατανομής Pareto και Gumbel μεγίστων, προτάθηκαν αντίστοιχα οι σχέσεις:

$$\alpha(T) = \lambda(T^\kappa - \psi) \quad (2.5)$$

$$\alpha(T) = \frac{1}{\lambda} \left\{ \psi - \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (2.6)$$

Συνδυάζοντας την 2.1 με την 2.2 και την 2.3 προκύπτει η συχνότερα χρησιμοποιούμενη ενιαία ημιεμπειρική έκφραση ομβρίων καμπυλών:

$$i = \frac{\lambda T^\kappa}{(t + \theta)^n} \quad (2.7)$$

Αντίστοιχα συνδυάζοντας τις 2.1, 2.2, 2.5 και 2.6 προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$i = \frac{\lambda(T^\kappa - \psi)}{(t + \theta)^n} \quad (2.8)$$

$$i = \frac{1}{\lambda(t + \theta)^n} \left\{ \psi - \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (2.9)$$

Η σχέση 2.7 είναι η απλούστερη στην κατασκευή και στην εφαρμογή της από την 2.8 και 2.9, αλλά έχει πάντα περιορισμένο πεδίο μεταβολής του  $T$ , ενώ οι πολυπλοκότερες ισχύουν για κάθε τιμή της περιόδου επαναφοράς  $T$ . Η κατανομή αυτή έχει αποδειχθεί (Κουτσογιάννης, 1997) ότι είναι από τις πιο αντιπροσωπευτικές και δίνει μία αρκετά ακριβή εκτίμηση των ομβρίων καμπυλών.

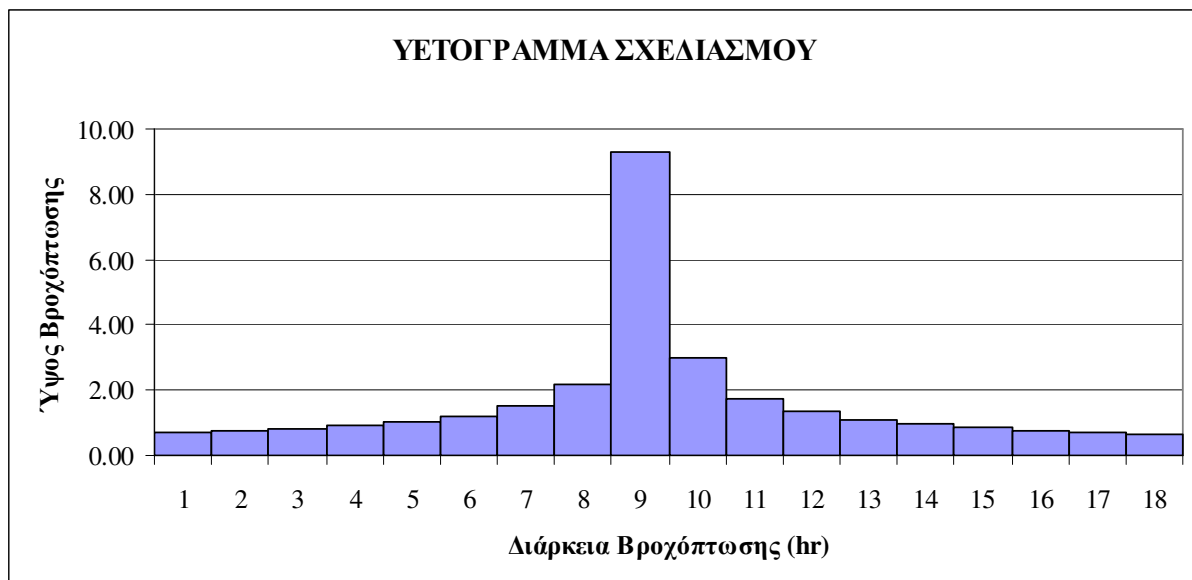
$$i = \frac{\lambda \psi + \frac{\lambda}{\kappa} \left[ \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-\kappa} - 1 \right]}{(t + \theta)^n} \quad (2.10)$$

Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η γενικευμένη εξίσωση όμβριας καμπύλης (Γραφείο Μαχαίρα, 1996), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για το

σχεδιασμό των υδραυλικών έργων αποχέτευσης ομβρίων της Αττικής Οδού στο μέσο τμήμα Ε.Λ.Ε.-Σ.Σ.:Α.Κ. Μεταμόρφωσης- Α.Κ. Παλλήνης και Δυτική Περιφερειακή Λ. Υμηττού.

### 2.2.2 Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού

Η βροχόπτωση σχεδιασμού είναι ένα πρότυπο βροχόπτωσης που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό ενός υδατικού συστήματος. Συνήθως, εισάγεται στο σύστημα η βροχόπτωση σχεδιασμού και εξάγονται οι τιμές των παροχών χρησιμοποιώντας τις σχέσεις βροχόπτωσης απορροής και διαδικασίες διόδευσης. Η βροχόπτωση σχεδιασμού μπορεί να προσδιοριστεί με την τιμή του ύψους βροχόπτωσης σε ένα σημείο με ένα υετόγραμμα σχεδιασμού που καθορίζει τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια μιάς καταιγίδας ή με έναν χάρτη ισουέτιων καμπυλών που προσδιορίζουν το χρονικό πρότυπο της βροχόπτωσης (Shaw,1983). Παλαιότερα, δε λάμβαναν υπόψη τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Προκειμένου να εξαχθεί ένα υδρογράφημα σχεδιασμού απαιτείται ένα αξιόπιστο υετόγραμμα σχεδιασμού. Η προσέγγιση που θεωρείται πιο αξιόπιστη για τον Ελλαδικό χώρο είναι αυτή των εναλλασσόμενων μπλοκ, η οποία παράγει ένα «εικονικό» υετόγραμμα όταν είναι διαθέσιμη η όμβρια καμπύλη. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ορίζεται το ύψος βροχόπτωσης που συμβαίνει σε  $n$  διαδοχικά ίσα διαστήματα διάρκειας  $\Delta t$  σε μία ολική διάρκεια  $t = n\Delta t$ . Αφού επιλεγεί η περίοδος επαναφοράς, η ένταση υπολογίζεται από τις όμβριες καμπύλες για κάθε μία από τις διάρκειες  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$  και το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης βρίσκεται ως γινόμενο της έντασης της βροχόπτωσης και της διάρκειας. Οι διαφορές μεταξύ των διαδοχικών τιμών των υψών βροχής δίνουν το ύψος της βροχόπτωσης για κάθε διάστημα (βήμα) που μελετάται. Τα μπλοκ που προκύπτουν καταγράφονται καταρχάς με φθίνοντα ρυθμό και στη συνέχεια ανακατανέμονται με τέτοιο τρόπο ώστε το μέγιστο ύψος να τοποθετείται στο κεντρικό μπλοκ και τα εναπομείναντα μπλοκ με φθίνουσα σειρά και με εναλλαγή μία στα δεξιά και μία στα αριστερά. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται το υετόγραμμα σχεδιασμού όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1 (Chow,1988).



Σχήμα 2.1: Τυπικό υετόγραμμα σχεδιασμού κατασκευασμένο με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλόκ

## 2.3 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης

### 2.3.1 Γενικά

Η απορροή αποτελεί το τμήμα εκείνο του υδρολογικού κύκλου που έχει μεγαλύτερη σχέση με τις δραστηριότητες και τα έργα των ανθρώπων. Ένα από τα βασικά αντικείμενα της Τεχνικής Υδρολογίας στην ανάλυση και στην πρόβλεψη των πλημμυρικών γεγονότων αποτελούν τα χαρακτηριστικά της ροής των ομβρίων υδάτων σε μία φυσική λεκάνη. Η απορροή παράγεται από τα κατακρημνίσματα που δέχεται μία υδρολογική λεκάνη η οποία, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της, λειτουργεί ως σύστημα μετατροπής της βροχόπτωσης σε απορροή. Κατόπιν του σχηματισμού και της πτώσης της βροχής και πριν από τη δημιουργία απορροής, από την ποσότητα της βροχής ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και λέγεται Συγκράτηση (interception). Το τμήμα της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στη φυτοκόμη και εξατμίζεται λέγεται Απώλεια Συγκράτησης (interception loss). Η πτώση της βροχής στο έδαφος έπεται χρονικά και ακολουθείται από το φαινόμενο της διήθησης (infiltration). Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και διήθησης, και εφόσον η βροχόπτωση συνεχίζεται, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του αναγλύφου, ενώ στη συνέχεια έρχεται η επιφανειακή αποθήκευση (depression storage). Το νερό που συγκεντρώνεται στις κοιλότητες ή στην επιφάνεια, εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί και πάλι απώλεια. Στη συνέχεια, ξεκινάει η άμεση απορροή. Το μέρος της βροχής που προκαλεί την άμεση απορροή, δηλαδή η καθαρή βροχή που δημιουργεί την επιφανειακή απορροή αλλά και το τμήμα που προκαλεί την ταχεία υπεδάφια ροή, αναφέρονται μαζί ως Περίσσειμα Βροχής (Rainfall Excess). Είναι γεγονός πως η εκτίμηση των απωλειών της βροχόπτωσης και απορροής προσδιορίζονται διάφοροι δείκτες, οι Δείκτες απωλειών, που μπορούν να χρησιμοποιούνται για τη λεκάνη για τον προσδιορισμό του περισσεύματος βροχής. Τέτοιοι δείκτες απωλειών είναι ο Δείκτης  $\Phi$ , ο Δείκτης  $W$  και ο συντελεστής απορροής  $C$ . Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά ο συντελεστής απορροής  $C$  που είναι ο πιο διαδεδομένος.

### 2.3.2 Ο συντελεστής απορροής $C$

Ο συντελεστής απορροής  $C$  είναι ο λόγος του όγκου της άμεσης απορροής προς τον όγκο της βροχόπτωσης και συνδέεται με τη σχέση:

$$C = \frac{h_R}{h_r} \quad (2.11)$$

Όπου:

$h_R$  : ο όγκος της άμεσης απορροής εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος

$h_r$  : ο όγκος της βροχόπτωσης εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος

Ο συντελεστής απορροής παίζει ρόλο στην εκτίμηση της αιχμής μιας πλημμύρας σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο και η μη σωστή εκτίμησή του έχει συνέπειες στον υπολογισμό των δικτύων. Ο συντελεστής απορροής παρουσιάζει την πιο μεγάλη αβεβαιότητα στην εκτίμησή του, που οφείλεται στο γεγονός ότι ενσωματώνει όλες τις ασάφειες που προκύπτουν από τις υπεραπλουστεύσεις της μεθόδου. Ο συντελεστής απορροής δεν είναι σταθερός όπως προβλέπεται στην ορθολογική μέθοδο, αλλά, αντίθετα, παρουσιάζει έντονες μεταβολές

ακόμη και στην ίδια λεκάνη απορροής, καθώς επηρεάζεται σημαντικά από τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης, από τη χρονική απόσταση από την προηγούμενη βροχόπτωση και από άλλες παραμέτρους (Κουτσογιάννης, 2011). Ο συντελεστής απορροής  $C$  συνεκτιμά:

- Απώλειες συγκράτησης από την φυτοκόμη
- Απώλειες από την επιφανειακή συγκράτηση/αποθήκευση
- Απώλειες λόγω διήθησης
- Απώλειες λόγω εξάτμισης και διαπνοής

Να σημειωθεί ότι στις μελέτες χρησιμοποιούνται, ανεξάρτητα από τη διάρκεια της βροχής, τυποποιημένες τιμές των συντελεστών απορροής. Συνήθως δίνονται μέσες τιμές του συντελεστή απορροής ως συνάρτηση του τύπου της επιφάνειας της λεκάνης απορροής και της περιόδου επαναφοράς. Ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από την ένταση της βροχής, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης λεκάνης, τις χρήσεις γης, την εδαφοκάλυψη και τις συνθήκες υγρασίας στη λεκάνη. Αυξάνοντας την περίοδο επαναφοράς, αυξάνεται και ο συντελεστής απορροής, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ακρίβεια της ορθολογικής μεθόδου. Όσον αφορά στις βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς από 5 μέχρι και 20 έτη οι τιμές του συντελεστή  $C$  απεικονίζονται στον Πίνακα 2.1.

Ο μέσος συντελεστής απορροής προκύπτει από τη σχέση:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.12)$$

Όπου  $C_i$  οι συντελεστές των επιμέρους εκτάσεων  $A_i$ .

Πίνακας 2.1: Τιμές του συντελεστή απορροής  $C$  (Γσακίρης, 1995)

Τύπος Επιφάνειας	Συντελεστής απορροής
Οδοστρώματα (Ασφαλτικά σκυροδέματος)	0.70-0.95
Στέγες σπιτιών	0.75-0.95
Αμμώδη εδάφη	
Κλίση 0-2%	0.05-0.10
Κλίση 2-7%	0.10-0.15
Κλίση >7%	0.15-0.20
Βαριά εδάφη	
Κλίση 0-2%	0.13-0.17
Κλίση 2-7%	0.18-0.22
Κλίση >7%	0.25-0.35
Εμπορικές περιοχές (κέντρο πόλης)	0.70-0.95
(προάστιο)	0.50-0.70
Κατοικημένες περιοχές	0.30-0.70
Βιομηχανικές περιοχές	0.50-0.90
Πάρκα, κοιμητήρια	0.10-0.25
Γήπεδα	0.20-0.35

### 2.3.3 Μέθοδος SCS

Η μέθοδος SCS αποτελεί την πιο σύγχρονη μέθοδο για τον προσδιορισμό της ενεργού βροχόπτωσης. Η υπηρεσία Διατήρησης Εδαφών (Soil Conservation Service) του Υπουργείου Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής ανέπτυξε το 1972 την αναφερόμενη μέθοδο SCS για τη συνολική εκτίμηση των υδρολογικών απωλειών χρησιμοποιώντας μία παράμετρο η οποία σχετίζεται με τον τύπο του εδάφους, τις χρήσεις γης και τις υπάρχουσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας και μπορεί να εκτιμηθεί είτε με χρήση δεδομένων βροχόπτωσης και απορροής είτε μέσω πινάκων που έχουν καταρτιστεί για το σκοπό αυτό. Η μέθοδος SCS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περισεύματος βροχής ή την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας. Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS, έγινε εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες αποτελούν το 20% των συνολικών απωλειών και με αυτόν τον τρόπο οι εξισώσεις είναι οι εξής:

$$h_R = \frac{(h_R - 0.2S)^2}{h_r + 0.8S} \text{ για } h_R > 0.2S \quad (2.13)$$

$$h_R = 0 \text{ για } h_R < 0.2S \quad (2.14)$$

Οι παραπάνω σχέσεις αναπαριστούν το φαινόμενο της μετατροπής της βροχής σε απορροή με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι οι μέθοδοι που στηρίζονται στους δείκτες απωλειών όπως ο δείκτης  $\Phi$  και ο δείκτης  $W$ .

Σύμφωνα με το μοντέλο που αντιπροσωπεύουν οι παραπάνω σχέσεις, ένα μέρος του αρχικού ύψους βροχής ίσο με  $0.2S$  μετατρέπεται άμεσα σε απώλειες (αρχική κατακράτηση) χωρίς να δημιουργηθεί απορροή. Στη συνέχεια εξέλιξης του φαινομένου, το μοντέλο θεωρεί ότι μία πρόσθετη ποσότητα βροχής το πολύ ίση με  $S$  (δυνητικά μέγιστη κατακράτηση) μπορεί να μετατραπεί σε απώλειες. Κατά συνέπεια, το συνολικό ύψος απωλειών μπορεί να φτάσει μέχρι  $1.2S$ .

Η παράμετρος  $S$  συνδέεται με μία άλλη χαρακτηριστική παράμετρο, τον αριθμό καμπύλης CN (Curve Number) με τη σχέση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.15)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100 και επηρεάζεται συνήθως από τις συνθήκες του εδάφους και τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής καθώς και από τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας, οι οποίες συναρτώνται με τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από τις προηγούμενες. Η μέθοδος SCS κατατάσσει τα εδάφη στις ακόλουθες τέσσερις κλάσεις ανάλογα με τη διαπερατότητά τους:

**Κατηγορία A:** Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης όπως για παράδειγμα αμμώδη και χαλικώδη με μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.

**Κατηγορία B:** Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφράς σύστασης εδάφη, όπως για παράδειγμα αμμώδης πηλός.

**Κατηγορία C:** Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης συνήθως εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.

Κατηγορία D: Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, εδάφη με υψηλή στάθμη υπογείου νερού ή εδάφη μικρού βάθους με διαπερατό στρώμα.

Επιπροσθέτως η μέθοδος αυτή ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας του εδάφους:

Τύπος I: Ξηρές Συνθήκες (Εδάφη ξηρά, αλλά και πάνω από το σημείο μαράνσεως). Αντιστοιχούν στην περίπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερη των 13 mm κατά την χειμερινή περίοδο και 35 mm κατά την περίοδο βλάστησης.

Τύπος II: Μέσες συνθήκες. Η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών να είναι μεταξύ 13 και 38 mm για τη χειμερινή περίοδο και μεταξύ 35 και 53 mm για την περίοδο βλάστησης.

Τύπος III: Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα). Το ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεγαλύτερο από 28 mm κατά τη χειμερινή περίοδο και μεγαλύτερη των 55mm κατά την περίοδο βλάστησης.

Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II η μέθοδος SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης. Ένα μικρό υποσύνολο αυτών δίνει ο Πίνακας 2.2. Για τους άλλους δύο τύπους συνθηκών υγρασίας ο αριθμός καμπύλης απορροής CN προσδιορίζεται με βάση τον Πίνακα 2.3 ή με αναγωγή στις παρακάτω σχέσεις (Κουτσογιάννης, 2011).

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (2.16)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 - 0.013CN_{II}} \quad (2.17)$$



Πίνακας 2.2: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης CN κατά SCS για αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II (Τσακίρης, 1995).

ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΕΛΑΦΟΥΣ			
	A	B	C	D
<i>Καλλιερημένες εκτάσεις</i>				
Χωρίς έργα συντήρησης	72	81	88	91
Με έργα συντήρησης	62	71	78	81
<i>Ορεινοί βοσκότοποι</i>				
Κακή κατάσταση	68	79	86	89
Καλή κατάσταση	39	61	74	80
<i>Λιβαδικές εκτάσεις</i>				
Καλή κατάσταση	30	58	71	78
<i>Δασικές εκτάσεις</i>				
Αραιή συστάδα	45	66	77	83
Πυκνή συστάδα	25	55	70	77
<i>Ελεύθερες εκτάσεις γήπεδα γκολφ, πάρκα</i>				
Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης	39	61	74	80
Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της έκτασης	49	69	79	84
<i>Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατες)</i>	89	92	94	95
<i>Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)</i>	81	88	91	93
<i>Οικιστικές περιοχές</i>				
Μέσο μέγεθος οικοπέδου Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας				
<500 65	77	85	90	92
1000 40	61	75	83	87
1500 30	57	72	81	86
2000 25	54	70	80	85
4000 20	51	68	79	84
<i>Χώροι πάρκινγκ, στέγες κ.λ.π.</i>	98	98	98	98
<i>Δρόμοι</i>				
Με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων	98	98	98	98
Χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
Χωματόδρομοι	72	82	87	89
<i>Αστικές συνθήκες</i>				
Γυμνό έδαφος	77	86	91	94
Κήποι ή θάμνοι	72	81	88	91
Μεγάλη κάλυψη με πράσινο (>75% της διαπερατής περιοχής)	39	61	74	80
Μέτρια κάλυψη πρασίνου (50-75% της διαπερατής περιοχής)	49	69	79	84
Μικρή κάλυψη πρασίνου (<50% της διαπερατής περιοχής)	68	79	86	89
Άλση	36	60	73	79

Πίνακας 2.3: Μετατροπή αριθμών καμπύλης απορροής CN και τιμές της παραμέτρου  $S$  (Για την περίπτωση I αρχικών απωλειών  $0.2S$ ) (Τσακίρης, 1995).

Αριθμός καμπύλης Κατηγορία II	Αντίστοιχος αριθμός καμπύλης απορροής για		Τιμές του $S$ για τιμές του $CN$ της στήλης (1) (mm)	Ελάχιστη τιμή του $h_r$ για έναρξη απορροής (mm)
	Κατηγορία II	Κατηγορία I		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
100	100	100	0.0	0.0
95	87	99	13.4	2.7
90	78	98	28.2	5.6
85	70	97	44.8	9.0
80	63	94	63.5	12.7
75	57	91	84.7	16.9
70	51	87	108.9	21.8
65	45	83	136.8	27.4
60	40	79	169.3	33.9
55	35	75	207.8	41.6
50	31	70	254.0	50.8
45	27	65	310.4	62.1
40	23	60	381.0	76.2
35	19	55	471.0	94.3
30	15	50	592.7	118.5
25	12	45	762.0	152.4
20	9	39	1016.0	203.2
15	7	33	1439.0	287.9
10	4	26	2286.0	457.2
5	2	17	4826.0	965.2
0	0	0		

### 2.3.4 Η ορθολογική μέθοδος

Η ορθολογική μέθοδος είναι μία μέθοδος γραμμικού μετασχηματισμού των μεγίστων υψών βροχής, ορισμένης διάρκειας και περιόδου επαναφοράς, σε μέγιστες πλημμυρικές παροχές (Κυριακοπούλου και Κρόκος, 1993). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε μικρές υδρολογικές λεκάνες με εμβαδό μέχρι  $10 \text{ km}^2$ . Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι οι αστικές λεκάνες απορροής των τυπικών αγωγών αποχέτευσης έχουν μικρά εμβαδά και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η βροχόπτωση έχει ομοιόμορφη ένταση σε όλη τη διάρκειά της.

Η σχέση που μετασχηματίζει τη βροχόπτωση σε απορροή είναι η εξής:

$$Q_{\max} = 0.278CiA \quad (2.18)$$

Όπου:

- $Q_{\max}$  είναι η παροχή αιχμής της πλημμύρας σε  $m^3/s$
- $C$  είναι ο αδιάστατος συντελεστής απορροής
- $i$  είναι η σταθερή ένταση της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε  $mm/h$
- $A$  είναι το εμβαδόν της εξεταζόμενης λεκάνης σε  $km^2$

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή απαιτούνται οι εξής παραδοχές. Αρχικά η βροχόπτωση σχεδιασμού πρέπει να έχει χρονικά σταθερή ένταση, έπειτα η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού να είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης της θεωρούμενης λεκάνης απορροής και, τέλος, η παροχή αιχμής της πλημμύρας να έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με τη βροχόπτωση σχεδιασμού.

### 2.3.5 Το υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος και οι συνιστώσες του

Με το φαινόμενο της επιφανειακής απορροής σχετίζονται άμεσα τα υδρογραφήματα. Η επιφανειακή απορροή συνίσταται από την άμεση ή ταχεία πλημμυρική απορροή (direct runoff quickflow) και τη βασική ή βραδεία απορροή (baseflow, base runoff). Η άμεση απορροή σχετίζεται ευθέως με το περίσσειμα βροχόπτωσης, δηλαδή το τμήμα εκείνο της ολικής βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή. Συγκεκριμένα, αποτελεί έναν μετασχηματισμό περισσεύματος, ο οποίος χαρακτηρίζεται αφενός από μία χρονική υστέρηση, εξαιτίας του χρόνου που απαιτείται για τη διαδρομή του νερού μέχρι την έξοδο της λεκάνης, και αφετέρου από τη διατήρηση της ολικής μάζας ή όγκου (ο όγκος του περισσεύματος βροχόπτωσης είναι ίσος με τον όγκο της άμεσης απορροής). Η άλλη συνιστώσα της επιφανειακής απορροής που είναι η βασική απορροή, οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην υπόγεια ροή και για αυτό και δεν επηρεάζεται σημαντικά κατά τη διάρκεια των πλημμυρών.

Τα υδρογραφήματα κατά τη διάρκεια των πλημμυρών σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα υετογράμματα των βροχοπτώσεων που τις προκάλεσαν, περιέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που εξελίσσεται μία πλημμύρα στη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής. Πάνω σε αυτά βασίζονται σημαντικές υδρολογικές αναλύσεις καθώς και η κατάρτιση μοντέλων μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή. Στο Σχήμα 2.2 παριστάνεται ένα τυπικό υδρογράφημα (περιγράφει την παροχή του υδατορεύματος συναρτήσει του χρόνου) ενός πλημμυρικού γεγονότος, μαζί με το υετόγραμμα που προκάλεσε την πλημμύρα (ένταση βροχής συναρτήσει του χρόνου, το οποίο σχεδιάζεται με ανεστραμμένη φορά των τεταγμένων). Στο υδρογράφημα αυτό γίνεται η υπόθεση ότι η βροχόπτωση έχει ικανοποιητική χωρική ομογένεια ή η ένταση που απεικονίζεται στο υετόγραμμα αποτελεί τη χωρικά μέση τιμή για κάθε χρονικό διάστημα  $\Delta t$ . Στο υετόγραμμα φαίνεται ότι στο χρόνο  $t_K$  ξεκινά ένα επεισόδιο βροχής και σύντομα σε χρόνο  $t_A$ , μετά από ένα αρχικό έλλειμμα, ξεκινά η εμφάνιση περισσεύματος βροχής το οποίο μετατρέπεται σε άμεση απορροή. Η βροχή τελειώνει σε χρόνο  $t_N$ . Το περίσσειμα βροχής μπορεί να λήγει και αυτό στον ίδιο χρόνο  $t_N$  ή σε προηγούμενο χρόνο  $t_M$ , αν η ένταση στο τέλος του επεισοδίου είναι αρκετά μικρή.

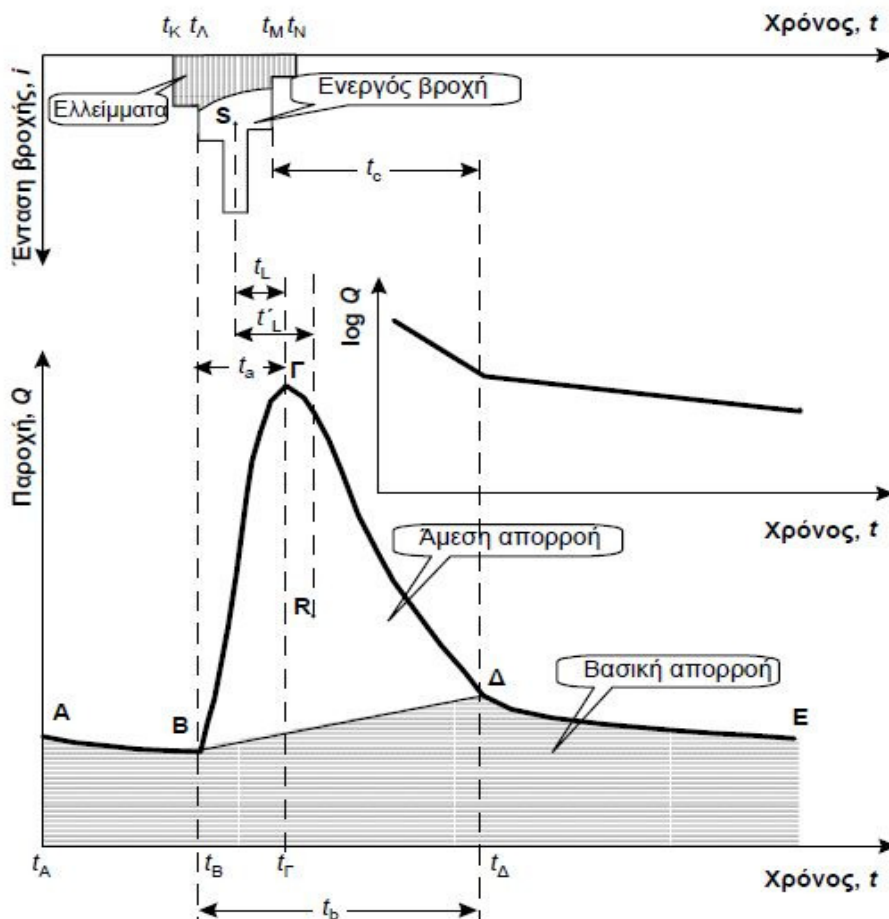
Σύμφωνα με το υδρογράφημα του σχήματος παρατηρείται ότι πριν αρχίσει η εμφάνιση του περισσεύματος βροχής, η παροχή είναι ελαφρώς φθίνουσα συνάρτηση του χρόνου. Ο κλάδος AB του υδρογραφήματος αντιπροσωπεύει τη βασική ροή του ποταμού, η οποία στα διαστήματα μεταξύ των πλημμυρικών επεισοδίων μειώνεται με το χρόνο με ήπιο ρυθμό. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η εκφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα συνοδεύεται από ταπείνωση της στάθμης τους και

συνακόλουθα από μείωση του ρυθμού εκφόρτισης. Έτσι, ο κλάδος στείρευσης της βασικής ροής και συνήθως περιγράφεται μαθηματικά από την εξίσωση εκθετικής μείωσης της παροχής ως προς τον χρόνο με τη μορφή:

$$Q = Q_0' \cdot e^{-(t-t_0)/a} \quad (2.19)$$

όπου  $Q_0'$  η παροχή στο χρόνο  $t_0$  και  $a$  ο συντελεστής στείρευσης με διαστάσεις χρόνου.

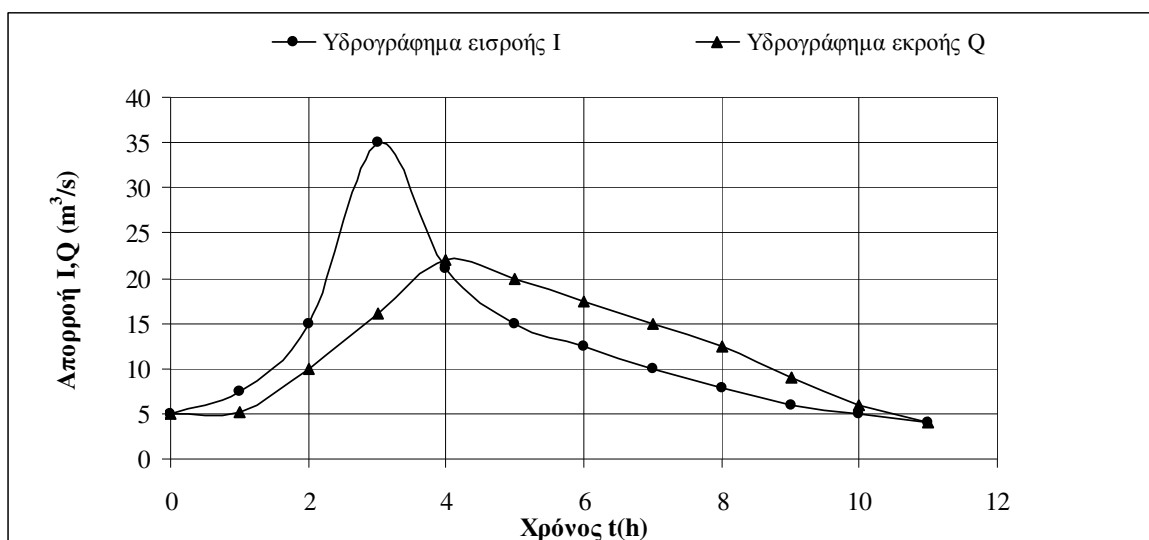
Όταν ξεκινάει το περίσσειμα βροχής σε χρόνο  $t_A = t_B$  η παροχή του υδατορεύματος αρχίζει να αυξάνεται με έντονο ρυθμό, μέχρι που η παροχή φτάνει στη μέγιστη τιμή της στο χρόνο  $t_T$ . Ο χρόνος αυτός για σχετικά σύντομα και απλής δομής επεισόδια βροχής, συνήθως έπεται της λήξης του περισσεύματος βροχής. Για μεγαλύτερης διάρκειας και απλής δομής επεισόδια βροχής ο χρόνος  $t_T$  μπορεί να ταυτίζεται με το χρόνο λήξης του περισσεύματος βροχής  $t_M$ . Ο κλάδος ΒΓ του υδρογραφήματος ονομάζεται ανοδικός κλάδος, το σημείο Γ ονομάζεται αιχμή του υδρογραφήματος και η παροχή στο χρόνο  $t_T$  παροχή αιχμής. Ακολουθεί η μείωση της παροχής που απεικονίζεται στον καθοδικό κλάδο ΓΔ. Η άμεση απορροή σε χρόνο  $t_A$  παύει η άμεση απορροή, συνεχίζει όμως η βασική απορροή σχηματίζοντας ένα νέο κλάδο στείρευσης τον κλάδο ΔΕ.



Σχήμα 2.2: Σκαρίφημα τυπικού πλημμυρικού υδρογραφήματος με το αντίστοιχο νετόγραμμα. Διαχωρισμός των συνιστωσών του υδρογραφήματος και χαρακτηριστικοί χρόνοι (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

### 2.3.6 Διόδευση πλημμύρας- Γενική περιγραφή

Διόδευση πλημμύρας ονομάζεται η τεχνική που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της χωροχρονικής εξέλιξης μίας πλημμύρας μέσω ενός επιφανειακού υδροφορέα (όπως για παράδειγμα υδατόρευμα, ταμιευτήρας, τμήμα υδρογραφικού δικτύου). Γενικότερα, η διόδευση αναφέρεται στην επίδραση των χαρακτηριστικών ενός υδρογραφικού συστήματος στο σχήμα και στη χρονική εξέλιξη μιας πλημμύρας (Τσακίρης, 1995). Για το σχεδιασμό των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας χρησιμοποιείται η τεχνική της διόδευσης. Η διαδικασία που ακολουθείται συνήθως είναι με δοκιμές, δηλαδή αρχικά δίνονται τα μεγέθη σχεδιασμού με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά του επιφανειακού υδροφορέα να είναι γνωστά. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η διόδευση της πλημμύρας μελέτης και στο τέλος ελέγχονται τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εκροής σε σχέση με την ικανότητα του υδατορεύματος στην κατάντη θέση που αφορά τον μελετητή. Όταν η μέγιστη παροχή εκροής (αιχμή του υδρογραφήματος) είναι μεγαλύτερη από την διοχετευτική ικανότητα του ρέματος στη συγκεκριμένη θέση, τότε δοκιμάζονται διαφορετικά χαρακτηριστικά του υπό σχεδιασμό υδροφορέα. Η τεχνική της διόδευσης αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα των μοντέλων που μετασχηματίζουν τη βροχόπτωση σε απορροή όταν υπάρχει έλλειψη στοιχείων απορροής. Η τεχνική της διόδευσης χρησιμοποιείται τόσο στην πρόβλεψη όσο και στον έλεγχο της πλημμύρας σε πραγματικό χρόνο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις από την πλημμύρα. Στην περίπτωση αυτή, είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εισροής σε μία θέση και προβλέπεται με αυτόν τον τρόπο η εξέλιξη της πλημμύρας εκροής στην επιλεγθείσα θέση. Όταν η πλημμύρα διέλθει διαμέσου ενός επιφανειακού υδροφορέα παρατηρείται μία μείωση της αιχμής της πλημμύρας που συνοδεύεται από μία καθυστέρηση. Για παράδειγμα, αν διοδευθεί μία πλημμύρα μέσω ενός τμήματος φυσικού υδατορεύματος με υδρογράφημα εισροής όπως αυτό του Σχήματος 2.3, στο υδρογράφημα εκροής στη θέση 2 παρατηρείται μία μείωση της αιχμής και μία χρονική επιβράδυνση εμφάνισης της πλημμύρας. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνεται ότι στα φυσικά υδατορεύματα υπάρχει αποθηκευτικότητα που δημιουργεί αυτήν την πτώση στην αιχμή του υδρογραφήματος εκροής. Στη γενική περίπτωση διόδευσης πλημμύρας μέσω ενός υδροφορέα και υπό την προϋπόθεση ότι οι απώλειες νερού στον υδροφορέα κατά το χρονικό διάστημα της διόδευσης είναι αμελητέες, τα εμβαδά των επιφανειών των υδρογραφημάτων εισόδου και εξόδου είναι ίσα. Η διαφορά των τεταγμένων των δύο υδρογραφημάτων κάθε χρονική στιγμή αντιπροσωπεύει την ανά μονάδα χρόνου αποθήκευση νερού στον υδροφορέα.



Σχήμα 2.3: Τυπικός μετασχηματισμός του υδρογραφήματος εισροής σε υδρογράφημα εκροής λόγω της διάδευσης.

Οι μεθοδολογίες επίλυσης της διάδευσης για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής είναι δύο, η Υδραυλική και η Υδρολογική. Η Υδρολογική βασίζει την πρόβλεψη εξέλιξης της πλημμύρας στην εξίσωση συνέχειας και σε μία συνάρτηση της χωρητικότητας του συστήματος. Για την Υδρολογική μέθοδο διάδευσης η τυπική μέθοδος είναι η μέθοδος Muskingum, η οποία χρησιμοποιεί την απλοποιημένη εξίσωση συνέχειας και εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις μη αστικής λεκάνης χωρίς δίκτυο αποχέτευσης. Η Υδραυλική μέθοδος αντίστοιχα βασίζει τη μαθηματική αναπαράσταση της εξέλιξης της πλημμύρας στην χρησιμοποίηση των εξισώσεων ασταθούς ροής σε ανοιχτούς αγωγούς (σύμφωνα με τις εξισώσεις Saint-Venant). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα μελέτη για το δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων και θα αναλυθεί στη συνέχεια.

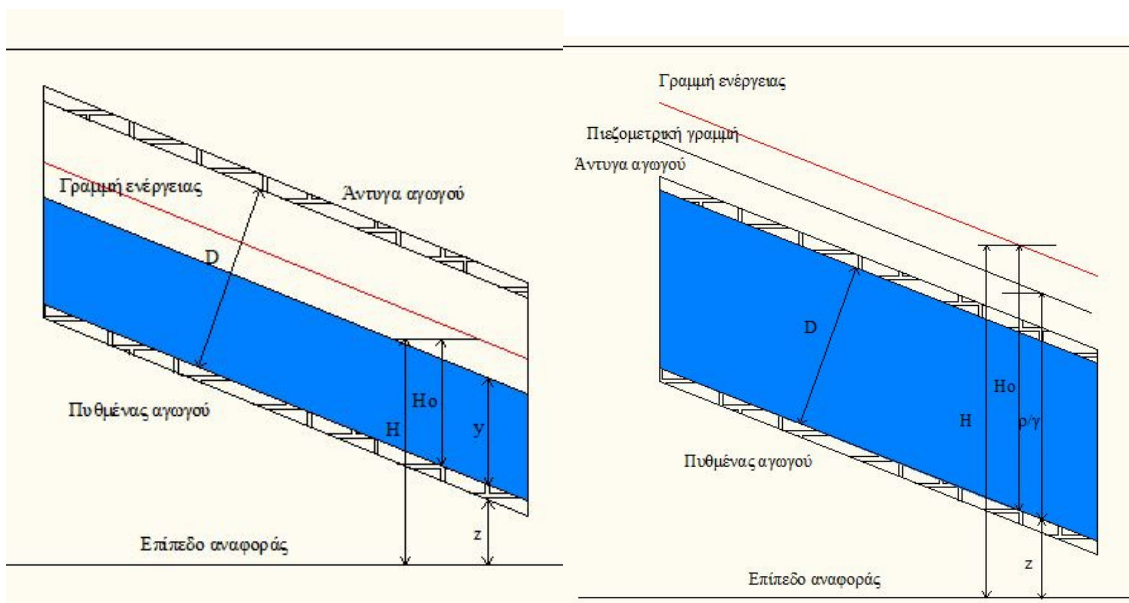
## 2.4 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης με δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων υδάτων

### 2.4.1 Γενικά

Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές οι αγωγοί αποχέτευσης ομβρίων σχεδιάζονται και λειτουργούν με ελεύθερη επιφάνεια. Έτσι, το ανώτερο τμήμα της κλειστής διατομής τους δε χρησιμοποιείται από υδραυλική άποψη, αλλά διατίθεται ως περιθώριο ασφαλείας και για λόγους αερισμού. Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς για την αποχέτευση θεωρείται υποχρεωτικός ο σχεδιασμός των αγωγών ομβρίων ως αγωγών με ελεύθερη επιφάνεια. Παρόλα αυτά, σε άλλους κανονισμούς επιτρέπεται η ολική πλήρωση των αγωγών ομβρίων ή ακόμη και υπό μικρή πίεση. Εντούτοις η εμφάνιση σημαντικής πίεσης στη ροή των αγωγών αποχέτευσης θεωρείται απαράδεκτη καθώς έχει ως συνέπεια την αναστροφή της ροής από τους αγωγούς προς τις ιδιωτικές συνδέσεις ή τα φρεάτια των οδών. Στους αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων η ροή είναι μη μόνιμη αφού οι παροχές μεταβάλλονται συνεχώς με το χρόνο. Παρόλα αυτά, για τη διαστασιολόγηση των αγωγών γίνεται η παραδοχή μόνιμης και ομοιόμορφης ροής και οι υπολογισμοί γίνονται για τις συνθήκες αιχμής, δηλαδή όταν η παροχή είναι η μέγιστη. Όταν πρόκειται για την εξέταση μεμονωμένων αγωγών ενός δικτύου αγνοούνται φαινόμενα μη μόνιμότητας (κύματα ελεύθερης επιφάνειας ή κύματα πίεσης)

καθώς οι διακυμάνσεις της παροχής στο χρόνο είναι ήπιες. Ωστόσο, στον υπολογισμό ενός μεγάλου μήκους και σημαντικής διατομής συλλεκτήρα ομβρίων, τα φαινόμενα μη μονιμότητας δε γίνεται να αγνοηθούν. Κατά μήκος ενός αγωγού αποχέτευσης συμβαίνουν πολύ συχνές μεταβολές, όπως για παράδειγμα αύξηση της παροχής, μεταβολή της διατομής ή αλλαγή της κλίσης. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η ροή είναι γενικά ανομοιομορφη. Παρόλα αυτά κατά τη διαστασιολόγηση και τον έλεγχο των αγωγών γίνεται η παραδοχή ομοιομορφης ροής κατά τμήματα. Στο Σχήμα 2.4 παριστάνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη της μόνιμης ομοιομορφης ροής σε υπονόμους ελεύθερης ροής και σε αγωγούς υπό πίεση και τα μεγέθη που απεικονίζονται είναι τα εξής:

$z$ :	Υψόμετρο πυθμένα
$y$ :	Βάθος ροής
$p/\gamma$ :	Πιεζομετρικό ύψος
$V^2/2g$ :	Ύψος κινητικής ενέργειας
$H_0 = p/\gamma + V^2/2g$ :	Ειδική ενέργεια
$H = z + p/\gamma + V^2/2g$ :	Ολική ενέργεια



Σχήμα 2.4: Χαρακτηριστικά μόνιμης ομοιομορφης ροής σε υπονόμους ελεύθερης ροής και αγωγούς υπό πίεση (από Κουτσογιάννης, 2011, μετά από τροποποίηση)

## 2.4.2 Βασικές εξισώσεις μόνιμης ροής

Οι αγωγοί αποχέτευσης γενικά σχεδιάζονται σε συνθήκες μόνιμης ροής και εφαρμόζονται οι βασικοί νόμοι της ρευστομηχανικής θεωρώντας ότι το ρευστό είναι σταθερής πυκνότητας σε σταθερό όγκο αναφοράς. Στις συνθήκες μόνιμης ροής λαμβάνονται υπόψη μόνο οι μεταβολές των χαρακτηριστικών ροής στην κύρια κατεύθυνση, παράλληλη προς την κλίση του πυθμένα και αγνοούνται οι πλευρικές εισροές, δηλαδή οι μεταβολές στις κάθετες διευθύνσεις. Οι τρεις εξισώσεις της μεθόδου είναι οι εξισώσεις συνέχειας, ορμής και ενέργειας. Οι εξισώσεις αυτές αναφέρονται στον όγκο αναφοράς που ορίζεται από δύο διατομές ανάντη (1) και κατόντη (2) κάθετες στην κύρια κατεύθυνση της ροής. Η εξίσωση συνέχειας έχει την παρακάτω μορφή:

$$Q_1 = Q_2 \Leftrightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.20)$$

Όπου  $Q$  η παροχή,  $A$  η υγρή διατομή και  $V$  η μέση ταχύτητα ροής, ενώ οι δείκτες αφορούν τις διατομές αναφοράς. Όταν υπάρχουν κόμβοι με πολλές εισόδους  $Q_i$  και εξόδους  $Q_j$  και με την προϋπόθεση ότι επικρατούν συνθήκες μόνιμης ροής στους αγωγούς αποχέτευσης η εξίσωση συνέχειας γράφεται ως εξής:

$$\sum_i Q_i = \sum_j Q_j \quad (2.21)$$

Παρόλα αυτά, το γεγονός ότι οι παροχές σχεδιασμού διαφόρων κλάδων που συμβάλλουν σε έναν κόμβο δεν ικανοποιούν τη σχέση 2.21 δεν αποτελεί υδραυλικό παράδοξο. Κατά τη μελέτη κάθε ξεχωριστού κλάδου θεωρείται ως παροχή σχεδιασμού η μέγιστη παροχή που περνάει από το συγκεκριμένο κλάδο.

Η εξίσωση της ποσότητας κίνησης στον όγκο αναφοράς είναι διανυσματική και σε κάθε διεύθυνση ( $k = 1, 2, 3$ ) γράφεται ως εξής:

$$\sum F_k = \rho_w Q [(\beta V_k)_2 - (\beta V_k)_1] \quad (2.22)$$

όπου  $\sum F_k$  το άθροισμα κατά τη διεύθυνση  $k$  συνιστωσών των εξωτερικών δυνάμεων που ενεργούν στο συγκεκριμένο όγκο αναφοράς μεταξύ των διατομών 1 και 2,  $\rho_w$  η πυκνότητα του ρευστού,  $V_k$  η συνιστώσα της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση  $k$  και  $\beta$  ο συντελεστής συνόρθωσης της ορμής. Σε προβλήματα αγωγών αποχέτευσης λόγω της τυρβώδους ροής που συνήθως αναπτύσσεται η τιμή του  $\beta$  μπορεί να θεωρηθεί ίση με 1, χωρίς σημαντικές ανακρίβειες. Στις εξωτερικές δυνάμεις  $F_k$  περιλαμβάνονται αρχικά οι δυνάμεις πιέσεων στις διατομές 1 και 2, οι δυνάμεις πιέσεων στα στερεά όρια του όγκου αναφοράς μεταξύ των διατομών 1 και 2, συρτικές δυνάμεις στα στενά όρια του όγκου αναφοράς και τέλος το βάρος του όγκου αναφοράς.

Η εξίσωση ενέργειας μεταξύ των δύο διατομών έχει την εξής μορφή:

$$H_1 = H_2 + \sum h_{f,1 \rightarrow 2} \quad (2.23)$$

Όπου  $\sum h_{f,1 \rightarrow 2}$  οι απώλειες ενέργειας που περιλαμβάνουν τις γραμμικές απώλειες που οφείλονται στις συρτικές δυνάμεις στα τοιχώματα και περιλαμβάνουν τις γραμμικές απώλειες που εμφανίζονται στα σημεία έντονης μεταβολής της ροής. Το ύψος ενέργειας σε κάθε θέση έχει μονάδες μήκους και αποτελείται από το υψόμετρο πυθμένα, το πιεζομετρικό ύψος και το ύψος κινητικής ενέργειας, όπως φαίνεται και στην εξίσωση 2.24.

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (2.24)$$

### 2.4.3 Απώλειες τριβής

Η πληρέστερη προσέγγιση από τις ποικίλες σχέσεις απωλειών τριβής για οποιοδήποτε είδος ρευστού και οποιοδήποτε συνθήκες ροής αποτελεί η σχέση Darcy-Weisbach που δίνει το γραμμικό ύψος των απωλειών  $h_f$  και γράφεται ως εξής:



$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.25)$$

όπου  $f$  ο αδιάστατος συντελεστής τριβής,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $L$  το μήκος του αγωγού για το οποίο υπολογίζονται οι απώλειες ενέργειας.

Ο συντελεστής  $f$  εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds  $Re$ , την κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού  $\nu$  καθώς και από τη σχετική τραχύτητα  $k/D$ . Ο αριθμός Reynolds  $Re$  δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.26)$$

Ο συντελεστής τριβής  $f$  για τυρβώδη ροή ( $Re > 4000$ ) δίνεται από τον τύπο Colebrook-White, δηλαδή από τον εξής:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \ln \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.27)$$

Η κλίση των γραμμικών απωλειών φορτίου  $S_f$  ορίζεται ως το πηλίκο των γραμμικών απωλειών του φορτίου προς το μήκος του αγωγού:

$$S_f = \frac{h_f}{L} = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.28)$$

Παρόλα αυτά, η σχέση Darcy-Weisbach δεν έχει διαδεδομένη χρήση σε προβλήματα ανοιχτών αγωγών, αλλά είναι διαδεδομένη σε προβλήματα ροής σε υπό πίεση σωλήνες, κυκλικής διατομής. Αυτό συμβαίνει λόγω της σχετικής πολυπλοκότητας στις αριθμητικές εφαρμογές. Ακόμη και όταν χρησιμοποιείται η σχέση Darcy-Weisbach, η εφαρμογή της περιορίζεται συνήθως σε συνθήκες ολικής πλήρωσης του αγωγού, ενώ η αναγωγή στις συνθήκες μερικής πλήρωσης γίνεται με την απλούστερη σχέση του Manning η οποία είναι η εξής:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.29)$$

Όπου  $n$  ο συντελεστής τραχύτητας και  $R$  η υδραυλική ακτίνα. Η σχέση του Manning έχει επικρατήσει διεθνώς για εφαρμογές σε ανοιχτούς αγωγούς. Κατά συνέπεια είναι κατάλληλη και για αγωγούς αποχέτευσης. Ο συντελεστής  $n$  συνδέεται με τον αδιάστατο συντελεστή  $f$  του τύπου Darcy-Weisbach με τη σχέση:

$$n = \left( \frac{f}{8g} \right)^{1/2} R^{1/6} \quad (2.30)$$

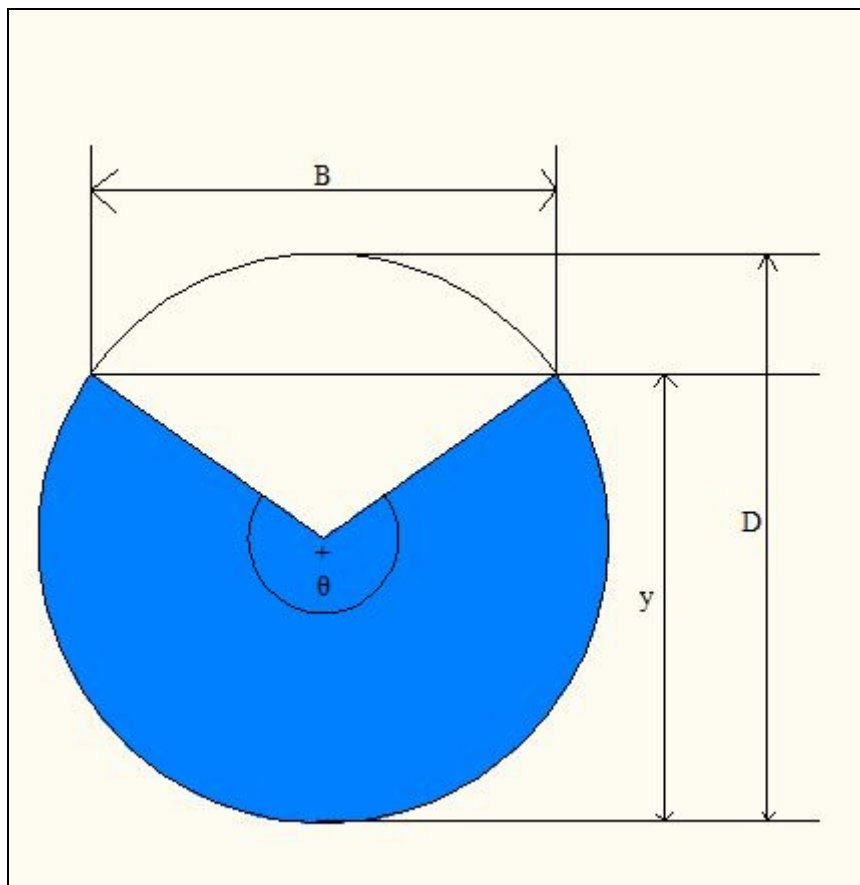
#### 2.4.4 Υπολογισμός ομοιόμορφης ροής σε σωλήνες κυκλικής διατομής

Συνήθως στα τυπικά δίκτυα ομβρίων αγωγών εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά η κυκλική διατομή για τη διαστασιολόγηση και τον έλεγχο των αγωγών. Γενικά χρησιμοποιείται ο τύπος του Manning, ο οποίος έχει το πλεονέκτημα να δίνει αδιαστατοποιημένες σχέσεις, ανεξάρτητες της διαμέτρου και των χαρακτηριστικών της ροής για μερική πλήρωση του αγωγού. Στα προβλήματα μόνιμης και ομοιόμορφης ροής προκειμένου να διαστασιολογηθεί

η διατομή ή να πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση για τον συντελεστή τραχύτητας ή της κλίσης του αγωγού, προσδιορίζονται μεγέθη όπως η παροχή αιχμής, η ταχύτητα και το βάθος ροής. Στον Πίνακα 2.4 παρατίθενται οι σχέσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ροής σε αγωγούς κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση, ενώ στο Σχήμα 2.5 φαίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ροής σε κυκλικό αγωγό.

Πίνακας 2.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση (Ναλμπάντης, 2010)

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά	Μερική πλήρωση $y < D$
Λόγος πλήρωσης $y/D$	$y/D = (1 - \cos(\theta/2))/2$
Γωνία $\theta$	$\theta = 2 \arccos(1 - 2y/D)$
Εμβαδό υγρής διατομής $A_w$	$A_w = (\theta - \sin \theta)D^2/8$
Βρεχόμενη περίμετρος $P$	$P = \theta D/2$
Υδραυλική ακτίνα $R$	$R = (1 - (\sin \theta / \theta))D/4$
Πλάτος με ελεύθερη επιφάνεια $B$	$B = D \sin(\theta/2) = 2(y(D - y))^{1/2}$



Σχήμα 2.5: Γεωμετρία ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση (από Κουτσογιάννης, 2011, μετά από τροποποίηση)

Όταν σε κυκλικό αγωγό ισχύει η ομοιόμορφη ροή  $S_f = S_0$  τότε οι σχέσεις που ισχύουν είναι οι εξής:

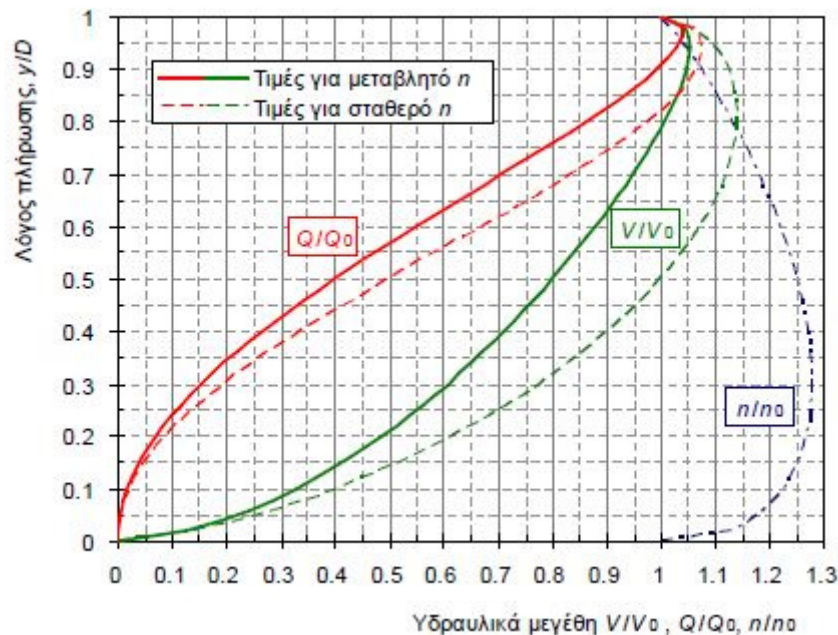
$$Q = \frac{1}{n} A_w R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2.31)$$

$$Q = \frac{1}{2 \cdot 4^{5/3}} \frac{1}{n} \theta \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)^{5/3} D^{8/3} S_0^{1/2} \quad (2.32)$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_0} D^{8/3} S_0^{1/2} \quad (2.33)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n_0}{n} \frac{\theta}{2\pi} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)^{5/3} \quad (2.34)$$

Όπου  $Q$  η παροχή του αγωγού για μερική πλήρωση,  $Q_0$  για ολική πλήρωση,  $y$  το βάθος ροής,  $n_0$  και  $n$  οι συντελεστές τραχύτητας για ολική και μερική πλήρωση αντίστοιχα. Ο λόγος είναι ανεξάρτητος της διαμέτρου  $D$  και της κλίσης του πυθμένα  $S_0$  και εξαρτάται από τη γωνία  $\theta$  ή αντίστοιχα από το λόγο πλήρωσης  $y/D$  καθώς και από τον λόγο των συντελεστών τραχύτητας  $n/n_0$ . Ο τρόπος που μεταβάλλεται ο λόγος πλήρωσης συναρτήσει του λόγου παριστάνεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Μεταβολή των υδραυλικών μεγεθών της ροής με ελεύθερη επιφάνεια σε κυκλικούς αγωγούς συναρτήσει του λόγου πλήρωσης  $y/D$  (Πηγή: Κουτσογιάννης, 2011)

Το παραπάνω νομογράφημα αντιστοιχεί στις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{n}{n_0} = 1 + 0.62 \left(\frac{y}{D}\right)^{0.4} \left(1 - \frac{y}{D}\right)^{0.9} \quad (2.35)$$

$$\frac{n}{n_0} = 1 + 2.31 \left(\frac{\theta}{2\pi}\right)^{1.2} \left(1 - \frac{\theta}{2\pi}\right)^2 \quad (2.36)$$

Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι ορισμένοι συλλεκτήρες σχεδιάζονται με διατομές μη κυκλικές. Η πιο συνηθισμένη είναι η κλειστή ορθογωνική διατομή αλλά και η ωοειδής. Η ωοειδής διατομή ή γενικότερα οι διατομές με κατάλληλο σχήμα πυθμένα εξασφαλίζουν αρκετά μεγάλες ταχύτητες ακόμη και για μικρά βάθη ροής.

#### 2.4.5 Μεθοδολογία σχεδιασμού και προδιαγραφές αγωγών αποχέτευσης ομβρίων σε συνθήκες μόνιμης ροής

Κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου αποχέτευσης ομβρίων αρχικά υπολογίζεται η παροχή σχεδιασμού με τη βοήθεια της ορθολογικής μεθόδου και στη συνέχεια διαστασιολογείται ο αγωγός σύμφωνα με τις εξισώσεις της μόνιμης και ομοιόμορφης ροής με ελεύθερη επιφάνεια. Στην αρχή υπολογίζεται η παροχή  $Q$  ενώ η σταθερή ένταση βροχόπτωσης  $i$  λαμβάνεται από την όμβρια καμπύλη της λεκάνης που εξετάζεται και αποτελεί μία συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας.

Στη θέση της διατομής του αγωγού που σχεδιάζεται η διάρκεια της βροχόπτωσης λαμβάνεται ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης  $t_c$  της θεωρούμενης λεκάνης (Τσακίρης, 2010). Ο χρόνος αυτός προκύπτει από το άθροισμα δύο επιμέρους χρόνων: του χρόνου εισόδου  $t_e$ , ο οποίος αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για να φτάσει το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της αποχετευόμενης επιφάνειας στο σημείο εισόδου του δικτύου ομβρίων (πρακτικά σε ένα φρεάτιο εισόδου) και του χρόνου ροής του νερού εντός των αγωγών του δικτύου  $t_f$ . Η σχέση που συνδέει τους χρόνους αυτούς είναι η εξής:

$$t_c = t_e + t_f \quad (2.37)$$

Όσον αφορά στο χρόνο εισόδου  $t_e$ , αυτός εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής  $L_e$  από το πιο απομακρυσμένο σημείο της αποχετευόμενης επιφάνειας στο πλησιέστερο φρεάτιο και από την ταχύτητα της επίγειας ροής του νερού  $V_e$  κατά μήκος της διαδρομής αυτής. Το μήκος  $L_e$  εξαρτάται από την χωρική πυκνότητα των φρεατίων εισόδου (πλήθος φρεατίων ανά μονάδα επιφάνειας) και από τη μορφή των συνδέσεων των αποχετευόμενων επιφανειών στο δίκτυο. Αντίστοιχα, η ταχύτητα ροής  $V_e$  εξαρτάται από την ένταση της βροχής αλλά και από τις ταχύτητες των υπόλοιπων υδρολογικών διεργασιών, όπως συγκράτηση από τη φυτοκόμη και διήθηση, οι οποίες επηρεάζονται από τα φυσικά χαρακτηριστικά της θεωρούμενης επιφάνειας. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η ακριβής εκτίμηση του χρόνου εισόδου είναι εξαιρετικά δύσκολη, καθώς επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. (Τσακίρης, 1995). Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές σε μελέτες αποχέτευσης λαμβάνεται μία σταθερή τιμή ίση με 10 min.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν ο χρόνος ροής  $t_f$  προκύπτει από τη σχέση:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (2.38)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση  $n$  είναι το πλήθος των αγωγών του δικτύου ανάντη της εξεταζόμενης θέσης,  $L_i$  το μήκος του αγωγού  $i$  και  $V_i$  η μέση ταχύτητα διατομής του νερού στον αγωγό.

Τέλος, προκειμένου να εκτιμηθεί η παροχή σχεδιασμού απαιτείται η έκταση της λεκάνης απορροής. Όσον αφορά στους αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων σαν λεκάνη απορροής θεωρείται όλη η επιφάνεια από την οποία το νερό αποχετεύεται στη θεωρούμενη διατομή. Η λεκάνη αυτή αναφέρεται συχνά ως υπολεκάνη απορροής και περιλαμβάνει τμήματα οικοδομικών τετραγώνων, δρόμους, πρασιές και άλλους χώρους αστικών περιοχών.

Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές για αγωγούς ομβρίων (ΠΔ 696/74) κατά το σχεδιασμό ομβρίων εφαρμόζονται οι εξής περιορισμοί:

α. *Περιορισμός ελάχιστης απαιτούμενης εσωτερικής διαμέτρου.* Όσον αφορά στους αγωγούς ομβρίων οι ελληνικές προδιαγραφές επιβάλλουν τη χρήση εσωτερικής διαμέτρου κατ'ελάχιστο 400 mm ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος εμφράξεων.

β. *Περιορισμός μέγιστου λόγου πλήρωσης.* Όπως προαναφέρθηκε, στην Ελλάδα οι αγωγοί αποχέτευσης σχεδιάζονται ως αγωγοί με ελεύθερη επιφάνεια και για αυτό ο μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης είναι για νέους αγωγούς 0.70 και για υφιστάμενους αγωγούς 0.80.

γ. *Περιορισμός μέγιστης ταχύτητας ροής.* Προκειμένου να αποφευχθούν διαβρώσεις στον πυθμένα των αγωγών και να μειωθεί ο κίνδυνος εμφάνισης ασταθειών στη ροή, η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι 6.0m/s.

δ. *Περιορισμός ελάχιστης επιτρεπόμενης κλίσης.* Κατά τη διαστασιολόγηση των αγωγών αποχέτευσης η κλίση του αγωγού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη επιτρεπόμενη που φαίνεται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5: Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Κουτσογιαννης, 2011)

Εσωτερική διάμετρος αγωγού (mm)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγού
400	0.0060
500	0.0044
600	0.0035
700	0.0028
800	0.0024
900	0.0020
1000	0.0018
1100	0.0016
1200	0.0014
1300	0.0012
1400	0.0011
1500	0.0010
1600	0.0010
1800	0.0010
2000	0.0010

#### 2.4.6 Μοντελοποίηση της λειτουργίας δικτύου ομβρίων υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής

Αν και οι μελετητές σχεδιάζουν τους αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων σε συνθήκες μόνιμης και ομοιόμορφης ροής, εντούτοις η παραδοχή αυτή είναι προσεγγιστική και όχι κατάλληλη

για την παρακολούθηση της εξέλιξης των χαρακτηριστικών της ροής κάτω από τις πραγματικές συνθήκες. Η ροή στα δίκτυα είναι μη μόνιμη και περιγράφεται από πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες επιλύονται πολύ δύσκολα χωρίς τη βοήθεια Η/Υ. Παρόλα αυτά, τελευταία έχουν αναπτυχθεί ολοκληρωμένα μοντέλα προσομοίωσης των δικτύων στα οποία εισάγονται διάφορα δεδομένα τοπολογίας και γεωμετρίας του δικτύου καθώς και τα χωροχρονικά δεδομένα της εξέλιξης μία καταιγίδας και εξάγεται η χωροχρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών της ροής στο σύνολο του δικτύου. Τα μοντέλα αυτά, αξιοποιώντας την πληροφορική, αποτελούν έναν συνδυασμό υδρολογίας και υδραυλικής και σύμφωνα με αυτά επιτυγχάνεται:

- Η εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε μεγάλα δίκτυα.
- Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των δικτύων.
- Ο έλεγχος της λειτουργίας των δικτύων κάτω από διάφορα σενάρια καταιγίδων, ώστε να επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δικτύου υπό συνθήκες υδραυλικής φόρτισης δυσμενέστερες των συνθηκών σχεδιασμού.
- Η δυνατότητα προσομοίωσης της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των όμβριων υδάτων.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του δικτύου ομβρίων χρησιμοποιούνται οι εξής μέθοδοι:

α. *Επιφανειακή Ροή*. Χρησιμοποιούνται μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής και περιλαμβάνουν διαδικασίες εκτίμησης υδρολογικών απωλειών.

β. *Ροή με ελεύθερη επιφάνεια σε αγωγούς*. Χρησιμοποιούνται μοντέλα υδραυλικά για τη διόδευση των πλημμυρών που βασίζονται σε αριθμητικές μεθόδους επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων μη μόνιμης ροής και υδρολογικά μοντέλα βασισμένα σε εννοιολογικές μεθόδους.

γ. *Ροή υπό πίεση σε αγωγούς*. Αυτό συμβαίνει όταν οι αγωγοί υπερφορτωθούν κάτω από πλημμυρικές συνθήκες δυσμενέστερες των συνθηκών σχεδιασμού. (Κουτσογιάννης, 2011).

#### **2.4.7 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής με ελεύθερη επιφάνεια**

Η μαθηματική αναπαράσταση ενός πλημμυρικού φαινομένου στο χώρο και στο χρόνο περιγράφεται ικανοποιητικά από τις διαφορικές εξισώσεις μονοδιάστατης, μη μόνιμης ροής βαθμιαίας μεταβολής σε ανοιχτούς αγωγούς (Saint Venant). Στον Πίνακα 2.6 παριστάνονται συγκεντρωτικά τα μεγέθη και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των εξισώσεων. Αφού η ροή είναι μη μόνιμη και με ελεύθερη επιφάνεια, όλα τα γεωμετρικά και υδραυλικά μεγέθη είναι συναρτήσεις του χρόνου και του χώρου.

Πίνακας 2.6: Γεωμετρικά και υδραυλικά μεγέθη μη μόνιμης ροής (Κουτσογιάννης, 2011)

$x$	Άξονας συντεταγμένων παράλληλος με την κύρια διεύθυνση της ροής
$t$	Χρόνος
$z(x)$	Υψόμετρο πυθμένα
$y(x,t)$	Βάθος ροής
$V(x,t)$	Μέση ταχύτητα κατά την διεύθυνση οι άλλες συνιστώσες της ταχύτητας θεωρούνται μηδενικές
$A(x,t)$	Επιφάνεια της υγρής διατομής
$B(x,t)$	Πλάτος της διατομής στην ελεύθερη επιφάνεια
$y_m(x,t)$	Υδραυλικό βάθος
$Q(x,t)$	Παροχή υγρής διατομής
$r(x,t)$	Πλευρική εισροή (παροχή ανά μονάδα πλάτους)
$H(x,t)$	Ολικό ύψος ενέργειας
$Fr(x,t)$	Αριθμός Froude
$S_0(x,t)$	Κλίση του πυθμένα
$S_f$	Κλίση τριβών

Για την ανάλυση της μη μόνιμης ροής σε ανοιχτούς αγωγούς η πρώτη εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η εξίσωση συνέχειας και είναι η εξής:

$$\frac{\partial A_w}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r \quad (2.39)$$

Η εξίσωση αυτή λέγεται και συντηρητική μορφή της εξίσωσης συνέχειας. Αντίστοιχα, ισοδύναμη μορφή της εξίσωσης αυτής, όπου η επιφάνεια και η παροχή αντικαθίστανται από το βάθος ροής και την ταχύτητα είναι η εξής:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + y_m \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{r}{B} \quad (2.40)$$

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση ως προς  $x$  μεταξύ των διατομών ανάντη (1) και κατόντη (2) προκύπτει η εξής μορφή της εξίσωσης συνέχειας:

$$\frac{\partial S(t)}{\partial t} = I(t) - Q(t) + R(t) \quad (2.41)$$

Όπου  $I(t)$  η παροχή εισροής, δηλαδή η παροχή στην ανάντη διατομή 1 και  $Q(t)$  η παροχή εκροής, δηλαδή η παροχή στην κατόντη διατομή 2, αντίστοιχα  $S(t)$  είναι ο συνολικός αποθηκευόμενος όγκος και  $R(t)$  είναι η συνολική παροχή πλευρικής εισροής στο τμήμα 1-2. Τα τελευταία μεγέθη δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$S(t) = \int_{x_1}^{x_2} A(x,t) dx \quad (2.42)$$

$$R(t) = \int_{x_1}^{x_2} r(x,t) dx \quad (2.43)$$

Επόμενη εξίσωση που περιγράφει τη μη μόνιμη ροή στους ανοιχτούς αγωγούς είναι η εξίσωση της ορμής (ή δυναμική εξίσωση) η οποία είναι η εξής:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2.44)$$

Η εξίσωση αυτή θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την ισορροπία των παρακάτω μεγεθών εκφρασμένων ανά μονάδα βάρους:

1. Δυνάμεις βαρύτητας (όρος  $S_0$ )
2. Δυνάμεις τριβής (όρος  $S_f$ )
3. Διαφορά δυνάμεων πίεσης (όρος  $\frac{\partial y}{\partial x}$ )
4. Μεταθετικής επιτάχυνσης (όρος  $\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)\left(\frac{V}{g}\right)$ )
5. Τοπικής επιτάχυνσης (όρος  $\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)\left(\frac{1}{g}\right)$ )

Παραλείποντας στην παραπάνω σχέση τους όρους του πρώτου μέλους αυτή παίρνει τη μορφή  $S_0 = S_f$  η οποία ουσιαστικά ταυτίζεται με την εξίσωση ενέργειας για μόνιμη και ομοιόμορφη ροή. Η ροή που χαρακτηρίζεται από αμελητέους τους όρους του πρώτου μέλους είναι γνωστή με τον όρο κινηματικό κύμα, ενώ η ροή στην οποία είναι σημαντικός μόνο ο όρος της διαφοράς δυνάμεων πίεσης χαρακτηρίζεται ως κύμα διάχυσης. Στη σχέση 2.44 έχει γίνει η υπόθεση ότι η πλευρική εισροή  $r$  εισέρχεται κάθετα προς την κύρια κατεύθυνση της ροής και άρα δεν επηρεάζει την κατεύθυνση κατά  $x$ . Ισοδύναμη εξίσωση με τη σχέση 2.44 και αποτελεί τη συντηρητική μορφή της δυναμικής εξίσωσης όπου στη θέση της ταχύτητας αντικαθίσταται η παροχή είναι η εξής:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + y_m (1 - Fr^2) \frac{\partial A}{\partial x} = A(S_0 - S_f) \quad (2.45)$$

#### 2.4.8 Ιδιότητες υποκρίσιμης και υπερκρίσιμης ροής και κρίσιμο βάθος

Όταν η ροή είναι με ελεύθερη επιφάνεια για δεδομένη γεωμετρία του αγωγού και παροχή  $Q$ , η ειδική ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$H = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gA_w^2} \quad (2.46)$$

Όπου το εμβαδό της υγρής διατομής  $A_w$  είναι συνάρτηση του βάθους ροής  $y$  και είναι ανεξάρτητο από τα άλλα χαρακτηριστικά του αγωγού.

Το κρίσιμο βάθος συνδέεται με μία ελάχιστη τιμή της ειδικής ενέργειας  $H_c$ . Όταν η ειδική ενέργεια είναι  $H_0 < H_c$  καθίσταται αδύνατη η πραγματοποίηση της ροής. Όταν η ενέργεια είναι  $H_c$  αντιστοιχεί μία και μοναδική τιμή του βάθους ροής που ονομάζεται κρίσιμο βάθος  $y_c$ . Η ροή που πραγματοποιείται με κρίσιμο βάθος λέγεται κρίσιμη ροή.



Όταν η ειδική ενέργεια παίρνει μεγαλύτερες τιμές  $H_0 > H_c$  η ροή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο διαφορετικά βάθη  $y > y_c$  και  $y < y_c$  τα οποία λέγονται εναλλακτικά βάθη. Στην πρώτη περίπτωση η ροή ονομάζεται υποκρίσιμη και στη δεύτερη υπερκρίσιμη.

Βασικό χαρακτηριστικό της ροής αποτελεί το κρίσιμο βάθος και αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση της ανομοιόμορφης ροής. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το κρίσιμο βάθος υπολογίζεται από τη συνθήκη  $H_0 = \min$ . Παραγωγίζοντας τη σχέση 2.45 προκύπτει η εξής:

$$\frac{\partial H_0}{\partial y} = 1 - \frac{Q^2}{gA_w^3} \frac{dA_w}{dy} \quad (2.47)$$

Εάν το πρώτο μέλος της σχέσης αυτής εξισωθεί με μηδέν και δεδομένο ότι  $\frac{dA_w}{dy} = B$  όπου  $B$  είναι το πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια του αγωγού, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{Q^2 B_c}{gA_c^3} = 1 \quad (2.48)$$

Η σχέση 2.47 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κρίσιμου βάθους και είναι ισοδύναμη με τις εξής μορφές:

$$y_{m_c} = \frac{Q^2}{gA_c^2} = \frac{V_c^2}{g} \quad (2.49)$$

$$Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{gy_{m_c}}} = 1 \quad (2.50)$$

όπου  $y_m = A_w / B$  είναι το μέσο βάθος ροής ή υδραυλικό βάθος και  $Fr$  είναι ο αριθμός Froude που εκφράζει το πηλίκο των δυνάμεων αδρανείας προς τις δυνάμεις βαρύτητας. η ειδική ενέργεια που αντιστοιχεί στο κρίσιμο βάθος εκφράζεται από τη σχέση:

$$H_{0_c} = y_c + \frac{y_{m_c}}{2} \quad (2.51)$$

Στην υποκρίσιμη ροή ισχύουν τα εξής:

$$Fr < 1$$

$$y > y_c$$

$$V < V_c$$

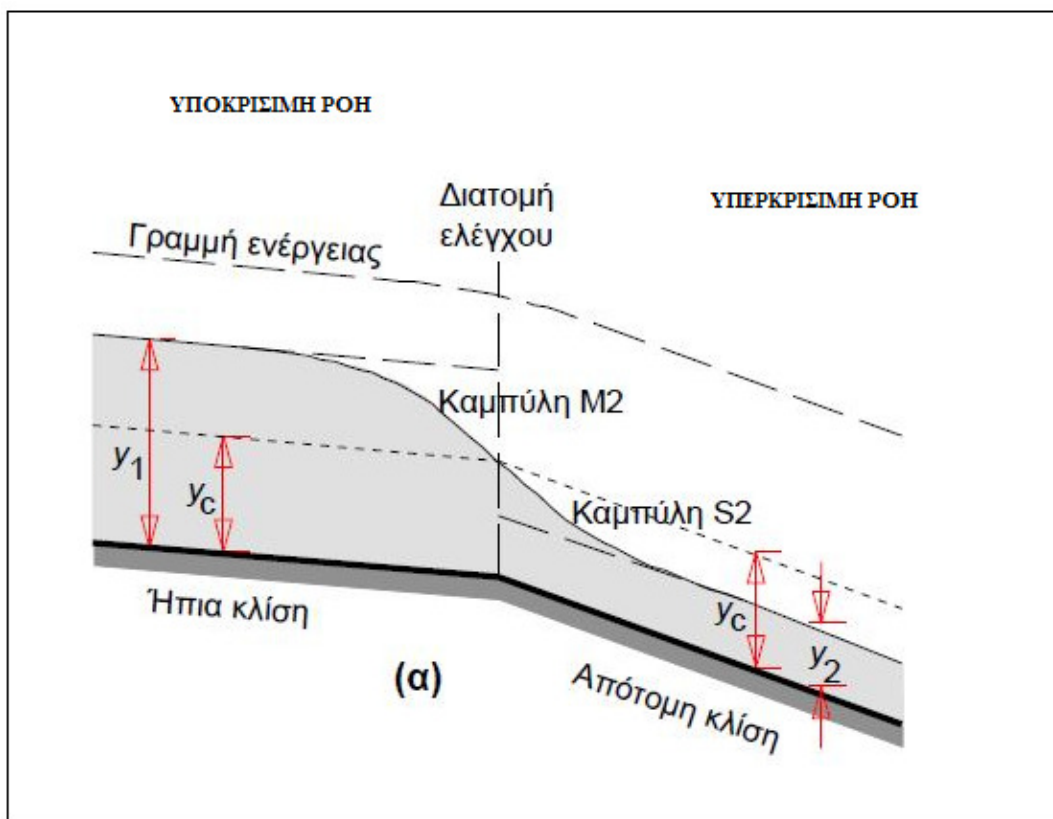
$$S_0 < S_{0_c}$$

Αντίστοιχα για την υπερκρίσιμη ροή ισχύουν οι ίδιες σχέσεις με αντίστροφη φορά. Προκειμένου να διαπιστωθεί αν η ροή με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι υποκρίσιμη ή όχι, αρκεί να ελεγχθεί μία από τις παραπάνω ανισώσεις. Ισχύει ότι όταν αυξάνεται η κλίση ενός αγωγού προς τα κατάντη η ροή μεταβαίνει από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη βαθμιαία και εμφανίζεται κρίσιμο βάθος στη διατομή της αλλαγής κλίσης. Αντίθετα, όταν μειώνεται η κλίση προς τα κατάντη, υπάρχει μετάβαση από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη ροή και εμφανίζεται υδραυλικό άλμα. Η μεταβολή αυτή γίνεται σε σχετικά μικρό μήκος αγωγού και συνεπάγεται απότομη αύξηση του βάθους ροής και μεγάλες απώλειες ενέργειας.

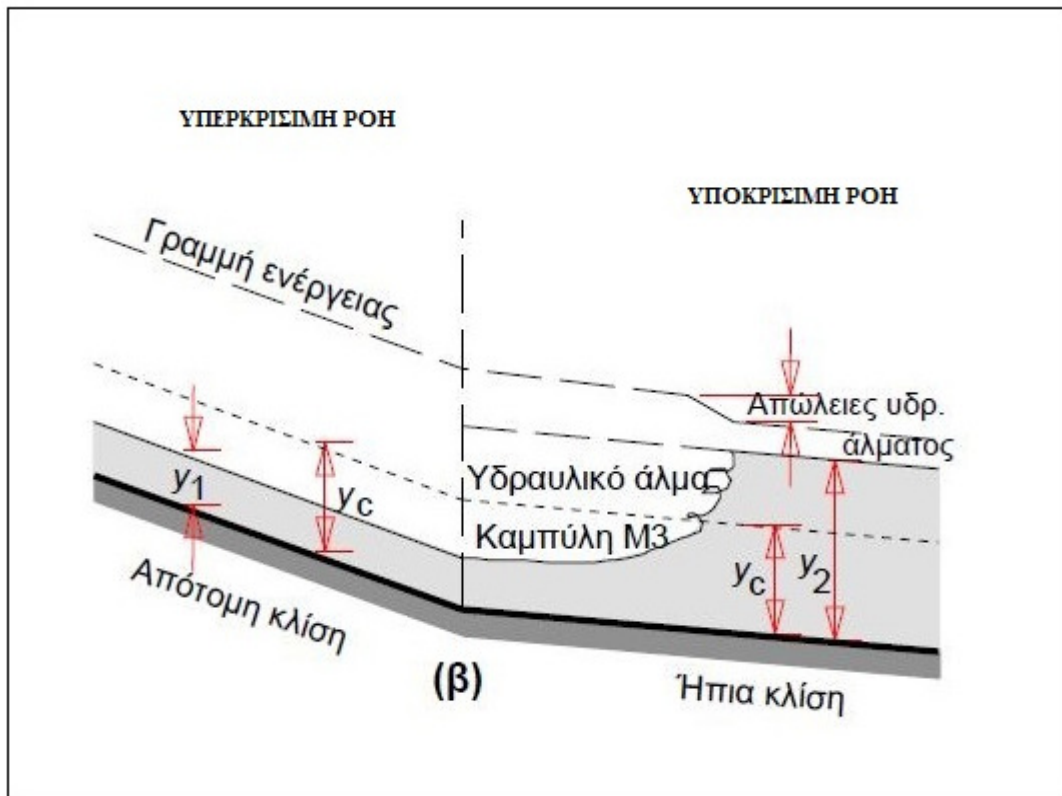
Στα τυπικά δίκτυα αποχέτευσης επιδιώκεται να σχεδιάζονται οι αγωγοί με υποκρίσιμη ροή, καθώς θα πρέπει να αποφεύγονται προβλήματα που προκαλεί η υπερκρίσιμη ροή όπως:

- 1.Μεγάλες ταχύτητες ροής οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο διάβρωσης των αγωγών.
- 2.Μεγάλο ύψος κινητικής ενέργειας με κίνδυνο ανάστροφων ροών στις συμβολές με δευτερεύοντες αγωγούς.
- 3.Εμφάνιση υδραυλικών αλμάτων με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σημαντικές τοπικές απώλειες ενέργειας και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των αγωγών.
- 4.Αστάθειες ροής στους κόμβους

Παρόλα αυτά, στους αγωγούς αποχέτευσης δεν είναι δυνατό να αποφεύγεται πάντα η υπερκρίσιμη ροή, είναι όμως αναγκαίο να εντοπίζονται οι θέσεις των υδραυλικών αλμάτων και να ενισχύονται οι αγωγοί στις θέσεις αυτές. Οι καταστάσεις ροής που περιγράφηκαν παραπάνω φαίνονται στα σχήματα 2.7 και 2.8 που ακολουθούν.



Σχήμα 2.7: Μετάβαση από την υποκρίσιμη ροή στην υπερκρίσιμη. (Πηγή: Κουτσογιάννης, 2011)



Σχήμα 2.8: Μετάβαση από την υπερκρίσιμη ροή στην υποκρίσιμη. (Πηγή: Κουτσογιάννης, 2011)

#### 2.4.9 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής υπό πίεση για ασυμπίεστα ρευστά

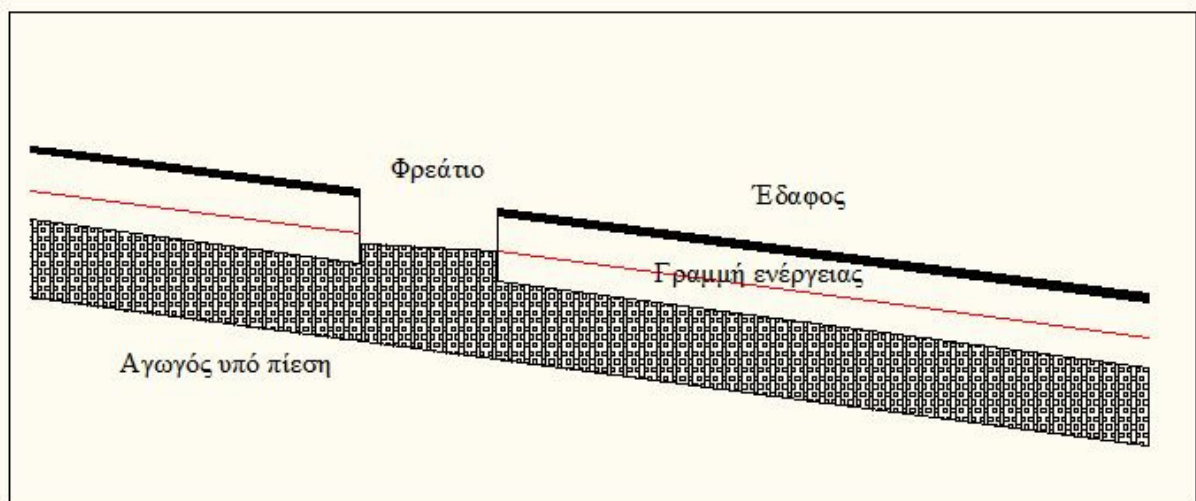
Υποθέτοντας ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο, οι εξισώσεις της μη μόνιμης ροής παίρνουν πολύ απλούστερες εκφράσεις στην περίπτωση των κλειστών αγωγών υπό πίεση όπου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής είναι σταθερά. Η εξίσωση συνέχειας κατά μήκος του αγωγού που φαίνεται στο σχήμα 2.9 είναι η εξής:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.52)$$

Από την παραπάνω σχέση διαπιστώνεται ότι η παροχή δεν είναι συνάρτηση του μήκους, αλλά μόνο του χρόνου. Ομοίως και για την ταχύτητα ισχύει ότι είναι συνάρτηση του χρόνου. Στην περίπτωση των κόμβων, όπως στο φρεάτιο του σχήματος 2.9 η εξίσωση συνέχειας παίρνει τη μορφή της σχέσης 2.52 που αναλύθηκε παραπάνω. Αντίστοιχα η δυναμική εξίσωση κατά μήκος του αγωγού του σχήματος παίρνει τη μορφή:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial x} - S_f \quad (2.53)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν δυνάμεις πίεσης, βαρύτητας και τριβής, παρά μόνο τοπική επιτάχυνση, η οποία εξαρτάται από τη μεταβολή της ενέργειας κατά μήκος του αγωγού και την κλίση της γραμμής ενέργειας. Η κλίση του πυθμένα δεν επηρεάζει τις τιμές της ταχύτητας και της παροχής, αφού ο αγωγός είναι υπό πίεση.



Σχήμα 2.9: Σκαρίφημα για την επεξήγηση των μεγεθών της μη μόνιμης ροής σε κλειστούς αγωγούς

#### 2.4.10 Διόδευση δυναμικού κύματος

Προκειμένου να υπολογιστούν τα μεγέθη της μη μόνιμης ροής, υπολογίζονται είτε από τις εξισώσεις Saint-Venant ή από την αντίστοιχη εξίσωση ορμής με ενσωματωμένο τον παράγοντα διόρθωσης της κατανομής της ταχύτητας  $\beta$ . Οι εξισώσεις αυτές δίνονται με τη μορφή της παροχής και της ταχύτητας και είναι οι εξής:

$$\frac{1}{gA_w} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta}{A_w} Q^2 \right) + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f = 0 \quad (2.54)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + (2\beta - 1) \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + (\beta - 1) \frac{V^2}{gA_w} \frac{\partial A_w}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f = 0 \quad (2.55)$$

Αυτές οι εξισώσεις αναφέρονται ως εξισώσεις δυναμικού κύματος, γιατί λαμβάνουν υπόψη τους τις δυνάμεις της βαρύτητας, τις δυνάμεις της τριβής, τη διαφορά των δυνάμεων πίεσης και τους αδρανειακούς όρους (τοπική και μεταθετική επιτάχυνση). Οι εξισώσεις Saint-Venant αποτελούν ζεύγη μερικών διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης υπερβολικού τύπου. Για τις εξισώσεις αυτές δεν υπάρχουν αναλυτικές λύσεις, εκτός από μερικές ειδικές περιπτώσεις, όπου οι εξισώσεις αυτές απλοποιούνται ύστερα από γραμμικοποίηση. Οι εξισώσεις αυτές επιλύονται αριθμητικά με διαφορικούς όρους, οι οποίοι προσεγγίζονται από πεπερασμένες διαφορές επιλεγμένων σημείων καννάβου σε ένα χωροχρονικό πεδίο ορισμού. Αντικαθιστώντας λοιπόν τις πεπερασμένες διαφορές σε μία μερική διαφορική εξίσωση αυτή μετατρέπεται σε αλγεβρική. Συνεπώς, οι αρχικές διαφορικές εξισώσεις μετατρέπονται σε ταυτόσημες αλγεβρικές εξισώσεις προς επίλυση. Αυτές οι δυναμικές εξισώσεις είναι αρκετά πολύπλοκες και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν οι αριθμητικές λύσεις τους. Για αυτό το λόγο γίνονται απλοποιήσεις παραλείποντας κάποιους λιγότερο σημαντικούς όρους, όπως για παράδειγμα γίνεται στην εξίσωση του κινηματικού κύματος.

#### 2.4.11 Διόδευση κινηματικού κύματος

Σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.54 και 2.55 η απλούστερη προσέγγιση της εξίσωσης ορμής του Saint-Venant είναι η διατήρηση μόνο των δύο τελευταίων όρων που αφορούν την κλίση,

αγνοώντας όλους τους υπόλοιπους όρους που αφορούν την επίδραση της αδράνειας και της πίεσης. Η εξίσωση της διόδευσης του κινηματικού κύματος περιγράφεται ως εξής:

$$\frac{\partial A_w}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.56)$$

$$S_0 = S_f \quad (2.57)$$

Η συνθήκη αυτή εφαρμόζεται στο τέλος του ανάντη αγωγού και συνήθως πρόκειται για το υδρογράφημα εισροής στο σημείο αυτό. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να προσδιοριστεί η λύση από τα ανάντη στα κατόντη, αγνοώντας τις συνθήκες που επικρατούν στο κατόντη τμήμα. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή κρίνεται αναξιόπιστη όταν πρόκειται για συνθήκες υποκρίσιμης ροής στις οποίες επηρεάζεται η ροή εκ των κατόντη (φαινόμενο backwater). Η παράλειψη των αδρανειακών όρων και των όρων πίεσης καταργεί το μηχανισμό μείωσης της αιχμής της πλημμύρας. Παρόλα αυτά, κατά την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων με αριθμητική προσέγγιση πεπερασμένων διαφορών, αναμένεται οι τιμές στα προσδιοριζόμενα μεγέθη να είναι μικρότερες. Αυτή η προσέγγιση όμως παρά το μειονέκτημά της, χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό (Mays, 1996).

## **3 Περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε**

---

### **3.1 Γενικά**

Το SWMM είναι ένα δυναμικό μοντέλο υδραυλικής και υδρολογικής προσομοίωσης καθώς και προσομοίωσης της ποιότητας του νερού των αστικών περιοχών. Το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε από τον Αμερικανικό Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος μεταξύ 1969 και 1971 και ήταν το πρώτο μοντέλο για την ανάλυση της αστικής απορροής. Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της διόδευσης της απορροής και των διαφόρων εισροών στα δίκτυα αποχέτευσης και ουσιαστικά δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης των δικτύων αποχέτευσης ανεξάρτητα από το μέγεθός τους.

Το πρόγραμμα αυτό παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον της περιοχής μελέτης, για την εισαγωγή δεδομένων, την προσομοίωση των υδρολογικών και υδραυλικών διαδικασιών και της ποιότητας των απορροών και τέλος την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μία σειρά από διαφορετικές μορφές, στις οποίες περιλαμβάνεται η παρουσίαση των αποχετευόμενων επιφανειών με διαφορετικά χρώματα, όπως και των αγωγών του δικτύου αποχέτευσης, τα γραφήματα και οι πίνακες των χρονοσειρών, οι κατά μήκος τομές των αγωγών με τις κατατομές (προφίλ) ροής καθώς και στατιστική ανάλυση συχνοτήτων.

### **3.2 Δυνατότητες Προσομοίωσης**

Το SWMM 5.0 έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης μιας σειράς υδρολογικών διαδικασιών που παράγουν απορροή σε αστικές περιοχές, όπως για παράδειγμα, οι βροχοπτώσεις μεταβλητής διάρκειας, η εξάτμιση από στάσιμα επιφανειακά ύδατα, η συσσώρευση και η τήξη του χιονιού, η κατακράτηση των βροχοπτώσεων από επιφανειακές κοιλότητες, η διήθηση των βροχοπτώσεων στις ακόρεστες εδαφικές διαστρώσεις, η τροφοδότηση του διηθούμενου ύδατος στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, οι εισροές από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα στο δίκτυο αποχέτευσης, η μη γραμμική διόδευση από δεξαμενές ανάσχεσης κλπ.

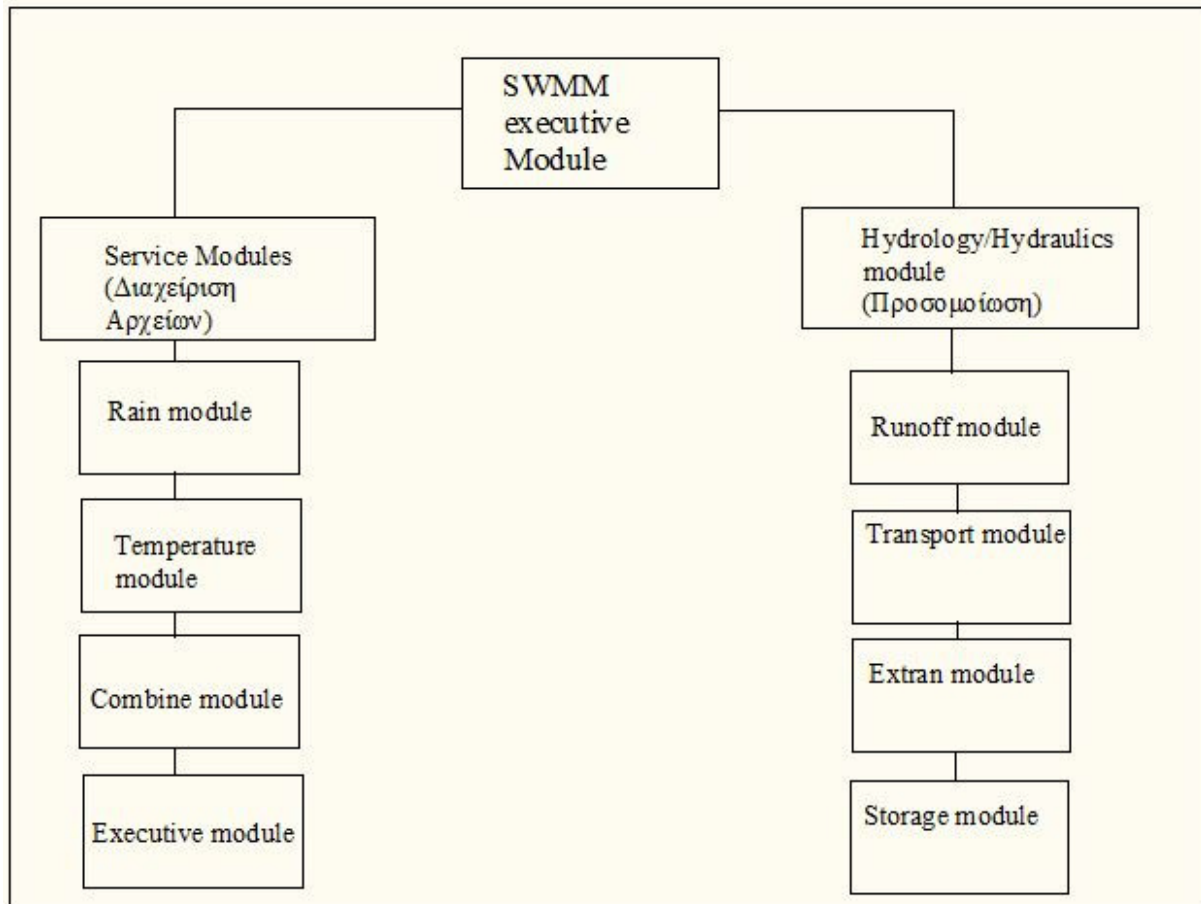
Η χωρική μεταβλητότητα σε όλες τις διαδικασίες του προγράμματος επιτυγχάνεται με την υποδιαίρεση της περιοχής μελέτης σε μικρότερες, ομογενείς αποχετευόμενες υποπεριοχές, καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει διαπερατές και αδιαπέρατες επιφάνειες. Η επιφανειακή ροή μπορεί να διoδευτεί είτε μεταξύ των υποπεριοχών, είτε μεταξύ των υπολεκανών, είτε μεταξύ των σημείων εισόδου του συστήματος αποχέτευσης.

Εκτός από την προσομοίωση της δημιουργίας και της μεταφοράς των απορροών, το SWMM 5.0 έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει τη δημιουργία των ρυπαντικών φορτίων που συνδέονται με την απορροή.

Το SWMM περιέχει επίσης μία σειρά από δυνατότητες υδραυλικής προσομοίωσης των απορροών και των εξωτερικών εισροών διαμέσου αποχετευτικού δικτύου αγωγών, τάφρων, δεξαμενών αποθήκευσης, κσι εγκαταστάσεων επεξεργασίας και έργων εκτροπής της ροής.

### 3.3 Περιγραφή του λογισμικού

Η δομή του SWMM συνίσταται στην ύπαρξη οκτώ ενότητων (executive modules) οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες (Παπαθανασίου, 2009). Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι τέσσερις ενότητες λειτουργιών (service modules), ενώ η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερις ενότητες υδραυλικής-υδρολογίας (hydrology-hydraulics modules). Η δομή αυτή περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.1: Οι ενότητες λειτουργιών και υδραυλικής-υδρολογίας του SWMM

Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα υπολογισμών για απεριόριστο αριθμό βημάτων χρόνου, συνδυασμού σύνθετων αλληλεπιδράσεων μεταξύ μετεωρολογικών δεδομένων, υπολογισμού της περιόδου επαναφοράς για συγκεκριμένη ένταση, διάρκεια και όγκο απορροής και ρύπους με τη βοήθεια του module statistics (James et al., 2002). Όλες αυτές οι ενότητες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να ληφθούν όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την προσομοίωση του δικτύου αποχέτευσης.

### 3.4 Ενότητες Λειτουργίας

#### *Module Rain*

Προκειμένου να γίνει η συνεχής προσομοίωση απαιτούνται βροχομετρικά δεδομένα, τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν αναφέρονται σε μεγάλες περιόδους.

### *Module Temperature*

Προκειμένου να προσομοιωθεί η τήξη του χιονιού απαιτούνται δεδομένα θερμοκρασίας.

### *Combine module*

Σύμφωνα με την ενότητα αυτή, επιτρέπεται η διαχείριση πολλαπλών αρχείων του προγράμματος, που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να συναθροιστούν τα αποτελέσματα προσομοιώνοντας με αυτόν τον τρόπο επιμέρους τμήματα μεγάλων και πολύπλοκων δικτύων αποχέτευσης.

### *Module Statistics*

Η ενότητα αυτή παρέχει τα αποτελέσματα μιας συνεχούς προσομοίωσης που μπορούν να είναι σημαντικού πλήθους, εάν καταγράφονται για κάθε χρονικό βήμα αυτής. Η ενότητα statistics έχει τη δυνατότητα διαχωρισμού και της αντιστοίχισης των αποτελεσμάτων σε διακριτά επεισόδια βροχής. Επιπλέον, η ενότητα αυτή επιτρέπει την κατάταξη των αποτελεσμάτων ανάλογα με τα κριτήρια που έχουν τεθεί από το χρήστη και την παρουσίασή τους με τον τρόπο που αυτός επιθυμεί, τον καθορισμό εμπειρικών συχνοτήτων και περιόδων επαναφοράς στις παραμέτρους που σχετίζονται με την απορροή και το ρυπαντικό φορτίο αυτής. Τέλος, δίνει τη δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων σε μορφή πινάκων ή γραφημάτων.

### *Module Runoff*

Η λειτουργία αυτή δημιουργήθηκε με σκοπό την προσομοίωση τόσο της ποιότητας όσο και της ποσότητας των υδάτων σε μία αποχετευόμενη λεκάνη απορροής καθώς και τη διόδευση των απορροών στους αγωγούς αποχέτευσης. Η λεκάνη απορροής αναπαρίσταται ως ένα σύνολο ιδεατών υπολεκανών που αποχετεύονται από τους αγωγούς του δικτύου. Η λειτουργία αυτή δέχεται τόσο συνθετικά όσο και αυθαίρετα υετογράμματα και λαμβάνει υπόψη την τήξη του χιονιού, τις απώλειες λόγω διήθησης στις διαπερατές επιφάνειες, την επιφανειακή ροή, τη ροή στους αγωγούς και τη συγκέντρωση ρύπων. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα αποτελέσματα με τη μορφή υδρογραφημάτων και ρυπογραφημάτων.

Τα δεδομένα εισόδου σε αυτήν την περίπτωση αποτελούν τα δεδομένα της προσομοίωσης. Τα δεδομένα εισόδου είναι μετεωρολογικά δεδομένα (δεδομένα βροχόπτωσης, τήξη χιονιού, θερμοκρασίας, ανέμου και εξάτμισης) δεδομένα της αποχετευόμενης επιφάνειας και του δικτύου των υπολεκανών (στοιχεία υπολεκανών, διατομές τάφρων και αγωγών, στοιχεία τμημάτων του δικτύου) καθώς και δεδομένα εδάφους (διαπερατότητα, κλίση και συντελεστής τραχύτητας Manning της υπολεκάνης). Τα δεδομένα των βροχοπτώσεων που εισάγονται στο πρόγραμμα είναι τα υετογράμματα, τα οποία ορίζουν την ένταση της βροχής σε σχέση με το χρόνο για την περίοδο προσομοίωσης. Η λειτουργία αυτή προσομοιώνει καλύτερα την επιφανειακή ροή. Τα δεδομένα εξόδου της προσομοίωσης είναι το υδρογράφημα της παροχής και η ταχύτητα ροής σε επιλεγμένους αγωγούς. Αντίστοιχα σε επιλεγμένους κόμβους του συστήματος, τα δεδομένα εξόδου είναι το βάθος ροής και το υψόμετρο της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού. Τα υδραυλικά στοιχεία που αναπαριστώνται είναι οι υπολεκάνες, οι αγωγοί, οι φυσικές τάφροι και τα φρεάτια. Οι υδραυλικές ιδιότητες του κάθε στοιχείου χαρακτηρίζονται στη συνέχεια από τις διάφορες παραμέτρους, όπως είναι το μέγεθος, η κλίση και ο συντελεστής τραχύτητας. Με αυτόν τον τρόπο διακριτοποιείται η λεκάνη και, έτσι, επιτυγχάνεται η προσομοίωση του δικτύου και εξάγονται τα απαραίτητα υδρογραφήματα. Οι υπολεκάνες που δημιουργούνται είναι ομοιόμορφες ως προς την κλίση, έχουν σταθερές τιμές τραχύτητας, αποθήκευσης ύδατος και διήθησης. Η ενοποίηση των



υπολεκανών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αγωγών αποχέτευσης, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται νωρίτερα εντονότερες κορυφές υδρογραφήματος και να μειώνεται η αποθήκευση ύδατος. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω της κατάλληλης ρύθμισης του πλάτους της υπολεκάνης. Η ίδια επίδραση θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της κατάλληλης ρύθμισης της κλίσης ή της τραχύτητας. Προτιμάται σε αυτήν την περίπτωση η ρύθμιση του πλάτους των υπολεκανών καθώς με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση της αποθήκευσης ύδατος σε αυτήν. Από την άλλη μεριά, η διακριτοποίηση των λεκανών στηρίζεται στον προσδιορισμό των ορίων αποχέτευσης πάνω σε έναν τοπογραφικό χάρτη και στην επιλογή των αγωγών, που περιλαμβάνονται στο δίκτυο.

#### *Module transport*

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί διόδευση της απορροής και των ρύπων μέσω ενός δικτύου αποχέτευσης στο πρόγραμμα SWMM χρησιμοποιείται η λειτουργία transport. Η λειτουργία αυτή έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης της ροής του δικτύου σε ξηρές περιόδους, υπολογισμού της ποσότητας των επιφανειακών υδάτων που διηθούνται, της διάβρωσης και της απόθεσης ιζημάτων και παράλληλα μπορεί να διαστασιολογήσει τους αγωγούς του δικτύου. Το μοντέλο αυτό βασίζεται για την υδραυλική διόδευση στη θεωρία του κινηματικού κύματος. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση οι διαταραχές μπορούν να διoδευτούν μόνον προς την κατάντη διεύθυνση του ύδατος. Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται στο transport είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγωγών του δικτύου (τύπος και διαστάσεις διατομής, μήκος και τραχύτητα), χωρίς όμως να περιλαμβάνεται σε αυτά η υψομετρική λεπτομέρεια. Αναλυτικότερα, τα στοιχεία που εισάγονται στη λειτουργία αυτή είναι τα υδραυλικά στοιχεία, δηλαδή η μορφή των διατομών των αγωγών, τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγωγών του δικτύου (σχήμα, μέγεθος, κλίση και τραχύτητα αγωγών) καθώς και τα υδρογραφήματα απορροής και τα ρυπογραφήματα. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η υδραυλική διόδευση του δικτύου πρέπει να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά των επιμέρους στοιχείων. Όσον αφορά στο δίκτυο ομβρίων τα στοιχεία του διακρίνονται σε σύνδεσμους και κόμβους. Με τον όρο σύνδεσμοι (links) νοούνται οι κάθε είδους παροχετευτικές μονάδες, όπως για παράδειγμα, οι αγωγοί, οι αντλίες, οι ρυθμιστές και οι μεριστές παροχής, ενώ ως κόμβοι (nodes) νοούνται τα φρεάτια και όλες οι μονάδες αποθήκευσης, όπως για παράδειγμα οι δεξαμενές αποθήκευσης καθώς και οι αποδέκτες της εκροής. Στην περίπτωση που η παροχή υπερβαίνει την παροχετευτική ικανότητα κάποιου συνδέσμου, αυτή προσομοιώνεται ως αποθήκευση στον ανάντη κόμβο.

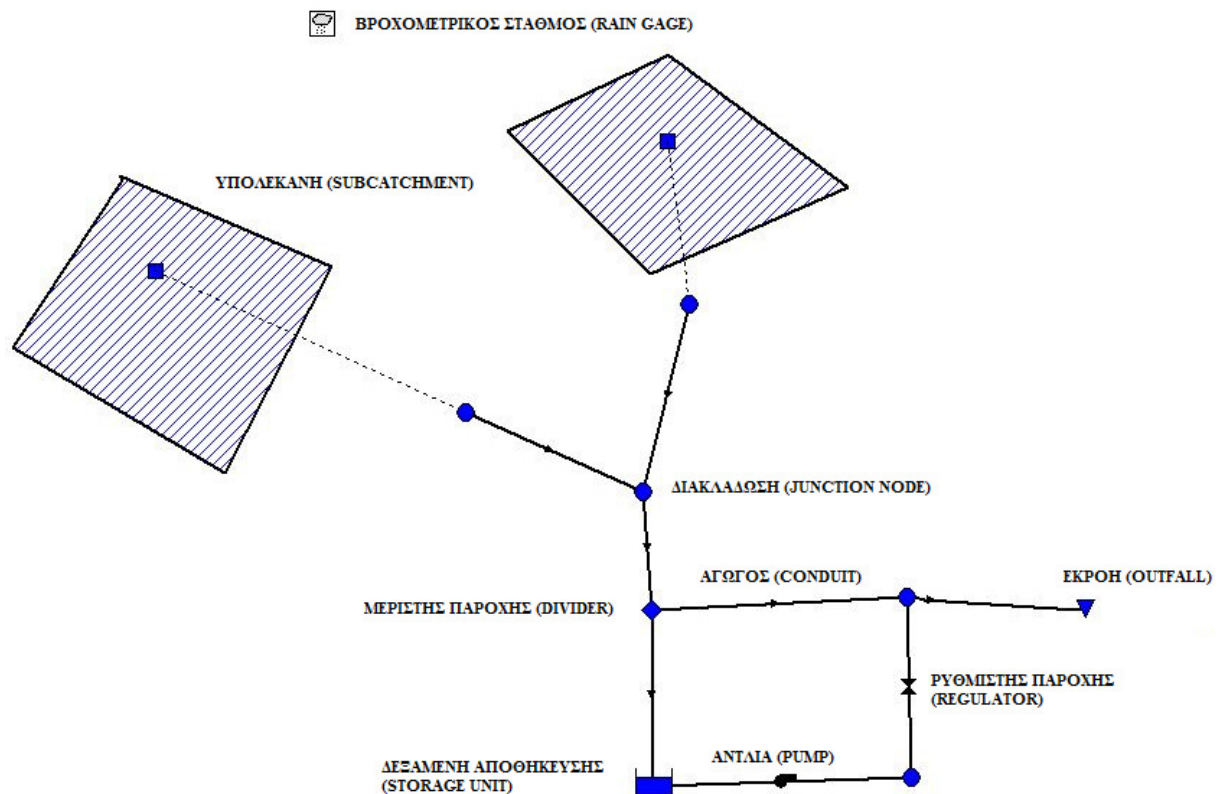
#### *Module extran*

Το μοντέλο extran είναι ένα υδραυλικό μοντέλο προσομοίωσης σε φυσικά κανάλια και δίκτυα κλειστών και ανοιχτών αγωγών. Τα δεδομένα εισόδου είναι οι θέσεις των κόμβων. Το συγκεκριμένο εργαλείο πραγματοποιεί δυναμική διόδευση των όμβριων υδάτων μέσω ενός αποχετευτικού δικτύου σε κάποιο τελικό αποδέκτη, προσομοιώνει τα δίκτυα ομβρίων είτε είναι ακτινωτά είτε σε βρόγχους, προσομοιώνει συνθήκες ανάστροφης ροής εντός του κυρίου υδατορέματος. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει τη ροή με ελεύθερη επιφάνεια ή υπό πίεση, μέσω εκχειλιστή, μέσω στομίου εκροής ή αντλίας και αποθήκευση σε ταμιευτήρα. Οι αγωγοί που το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψιν μπορεί να είναι τόσο ανοιχτής όσο και κλειστής διατομής. Οι αγωγοί κλειστής διατομής μπορεί να είναι κυκλικοί, ορθογώνιοι, τετραγωνικοί, πεταλοειδείς, και ωοειδείς. Οι ανοιχτοί αγωγοί είναι κυρίως τραπεζοειδούς ή παραβολικής διατομής και φυσικά κανάλια. Τα δεδομένα εξόδου της προσομοίωσης περιλαμβάνουν στοιχεία για τα υψόμετρα της ελεύθερης επιφάνειας του νερού και την

παροχή σε επιλεγμένα σημεία του συστήματος. Το δίκτυο έχει τη μορφή διατάξεων συνδέσμων (αγωγών) σε σειρά που ενώνονται με κόμβους (φρεάτια). Οι σύνδεσμοι και οι κόμβοι του συστήματος έχουν πλήρως καθορισμένες ιδιότητες ώστε να αναπαρίσταται πλήρως το δίκτυο. Οι σύνδεσμοι μεταφέρουν τη ροή από κόμβο σε κόμβο.

### 3.5 Τα αντικείμενα του SWMM

Το πρόγραμμα SWMM διαθέτει τόσο οπτικά όσο και μη οπτικά αντικείμενα τα οποία οργανώνονται σε έναν φάκελο αποθήκευσης. Τα οπτικά αντικείμενα χαρακτηρίζονται αυτά που χρησιμοποιούνται για τη φυσική αναπαράσταση του δικτύου αποχέτευσης όμβριων υδάτων. Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει ένα σύνολο οπτικών αντικειμένων τα οποία απεικονίζονται στον χώρο εργασίας του προγράμματος SWMM. Αντίστοιχα, τα μη οπτικά αντικείμενα που διαθέτει το πρόγραμμα ουσιαστικά αυτά χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του δικτύου καθώς και για τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό.



Σχήμα 3.2: Τα οπτικά αντικείμενα του προγράμματος SWMM

#### 3.5.1 Τα οπτικά αντικείμενα του SWMM

##### Βροχομετρικός Σταθμός (Rain Gage)

Το αντικείμενο αυτό παρέχει βροχομετρικά δεδομένα σε μία ή περισσότερες υπολεκάνες μιας περιοχής. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να καθοριστούν από τον χρήστη ή να εισαχθούν στο πρόγραμμα από κάποιο εξωτερικό αρχείο. Οι ιδιότητες που πρέπει να καθορίζονται από αυτό το αντικείμενο είναι:

1. Ο τύπος των δεδομένων της βροχόπτωσης (ένταση, όγκος ή ισοδύναμο ύψος)
2. Το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης
3. Η πηγή των δεδομένων (είτε με την εισαγωγή χρονοσειράς είτε με κάποιο εξωτερικό αρχείο)
4. Το όνομα του βροχομετρικού σταθμού

#### Υπολεκάνες (Subcatchments)

Το μοντέλο SWMM προσομοιώνει τις χωρικές μεταβολές των παραμέτρων προσομοίωσης με υποδιαίρεση της γενικής λεκάνης απορροής σε υπολεκάνες, λαμβάνει την απορροή από αυτές βάσει των μεμονωμένων ιδιοτήτων τους και συνδυάζει τις ροές τους χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό σχήμα διόδευσης. Οι υπολεκάνες αντιπροσωπεύουν υδρολογικές μονάδες γης με ομοιόμορφη κλίση, σταθερές τιμές τραχύτητας, αποθήκευσης ύδατος και τιμές διήθησης. Σύμφωνα με την τοπογραφία της περιοχής, οι υπολεκάνες κατευθύνουν την επιφανειακή απορροή στα σημεία εξόδου. Τα σημεία εξόδου μπορεί να είναι είτε κάποια άλλη λεκάνη, είτε κάποιο φρεάτιο του δικτύου. Ο χρήστης από την πλευρά του οφείλει να ορίσει το σημείο εξόδου της κάθε υπολεκάνης. Οι υπολεκάνες υποδιαιρούνται σε τρεις υποπεριοχές, δύο αδιαπέρατες με και χωρίς αποθήκευση ύδατος και μία διαπερατή. Στις διαπερατές επιφάνειες τμήμα της επιφανειακής απορροής διηθείται στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους, ενώ στις αδιαπέρατες όλη η βροχόπτωση μετατρέπεται σε απορροή. Οι αδιαπέρατες επιφάνειες μπορούν να χωριστούν σε δύο τμήματα. Στο τμήμα που περιέχει την επιφανειακή συγκράτηση, ανάλογα με την ύπαρξη θέσεων αποθήκευσης και στο τμήμα που δεν την περιέχει. Η επίγεια ροή που παράγεται από κάθε μία από τις τρεις υποπεριοχές προκύπτει από τη θεώρησή τους ως μη γραμμικές ιδεατές δεξαμενές. Το μη γραμμικό αυτό μοντέλο της δεξαμενής επιλύεται με τον συνδυασμό της εξίσωσης συνέχειας και της εξίσωσης του Manning (James et al., 2002). Η ποσότητα της εκροής  $Q$  δίνεται από τη σχέση:

$$Q = W \frac{1.49}{n} (\delta - \delta_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (3.1)$$

Όπου:

$Q$  = η εκροή της υπολεκάνης

$W$  = το πλάτος της επίγειας ροής

$n$  = ο συντελεστής τραχύτητας του Manning

$\delta_p$  = το βάθος αποθήκευσης του ύδατος

$\delta$  = το βάθος του ύδατος

$S$  = η κλίση της υπολεκάνης

Η διήθηση της βροχής μπορεί να περιγραφεί με τα εξής μοντέλα:

1. Το μοντέλο διήθησης κατά Horton
2. Το μοντέλο διήθησης κατά Green-Ampt
3. Το μοντέλο της ορθολογικής μεθόδου SCS σύμφωνα με τον αριθμό καμπύλης CN

Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα και χαρακτηρίζουν τη λεκάνη και πρέπει να εισαχθούν στο σύστημα είναι τα εξής:

1. Ο βροχογράφος που αντιστοιχεί στη λεκάνη
2. Το σημείο εξόδου της λεκάνης
3. Το εμβαδόν της λεκάνης
4. Τα χαρακτηριστικά πλάτος της επίγειας ροής
5. Η κλίση της περιοχής
6. Η διαπερατότητα
7. Οι χρήσεις γης που χαρακτηρίζουν την περιοχή
8. Ο συντελεστής τραχύτητας Manning, τόσο για τις διαπερατές και τις αδιαπέρατες περιοχές
9. Η επιφανειακή συγκράτηση στις διαπερατές και τις αδιαπέρατες περιοχές
10. Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής με μηδενική επιφανειακή συγκράτηση

#### *Κόμβοι (Junction nodes)*

Οι κόμβοι του συστήματος αποχέτευσης είναι οι σύνδεσμοι που συνδέουν όλους τους αγωγούς μεταξύ τους. Αντιπροσωπεύουν τη συμβολή των φυσικών υδατορευμάτων, τα φρεάτια ενός συστήματος αποχέτευσης ή τις συνδέσεις των αγωγών. Η περίσσεια νερού σε μία διακλάδωση μπορεί να μετατρέψει τον ανοιχτό αγωγό σε αγωγό υπό πίεση και οι αγωγοί να υπερχειλίσουν, σε αυτήν την περίπτωση το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα η περίσσεια αυτή να χαθεί από το σύστημα ή να λιμνάσει πάνω από τον κόμβο, η οποία στη συνέχεια αποχετεύεται πίσω σε αυτόν. Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τον κόμβο είναι οι εξής:

1. Το υψόμετρο του πυθμένα του αγωγού (invert elevation).
2. Ύψος μέχρι την επιφάνεια του εδάφους (maximum depth).
3. Την έκταση της λιμνάζουσας επιφάνειας που πλημμυρίζει (προαιρετικά).
4. Δεδομένα της εξωτερικής εισροής στο φρεάτιο (προαιρετικά).

#### *Κόμβοι εκβολής (Outfall nodes)*

Οι κόμβοι εκβολής είναι τερματικοί κόμβοι του συστήματος αποχέτευσης, που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα κατάντη όρια κατά τη διόδευση της ροής με τη μέθοδο του δυναμικού κύματος. Σε όλους τους υπόλοιπους τύπους διόδευσης οι κόμβοι αυτοί συμπεριφέρονται σαν απλοί κόμβοι (φρεάτια). Σημειώνεται ότι μόνο μία σύνδεση μπορεί να γίνει με έναν τέτοιο κόμβο. Οι οριακές συνθήκες που περιγράφουν έναν τέτοιο κόμβο είναι οι εξής:

1. Με το βάθος του κρισίμου ή του κανονικού βάθους ροής του αγωγού που καταλήγει στον κόμβο αυτόν.
2. Με μία σταθερή τιμή του βάθους ροής.
3. Με έναν πίνακα της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας.
4. Με μία προκαθορισμένη από το χρήστη χρονοσειρά του ύψους του νερού με το χρόνο.

Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τον κόμβο εκβολής είναι οι εξής:

1. Το υψόμετρο πυθμένα

2. Ο τύπος των συνθηκών που προσδιορίζουν την ανώτατη στάθμη που πρέπει να φτάσει το νερό
3. Η παρουσία θυροφράγματος τύπου περυγίου, ώστε να εμποδιστούν ο επηρεασμός της ροής εκ των κατάντη.

#### Αγωγοί (Conduits)

Οι αγωγοί είναι σωλήνες ή τάφροι που μεταφέρουν το νερό από τον έναν κόμβο στον άλλον. Το σχήμα των εγκάρσιων τομών μπορεί να επιλεγεί από μία ποικιλία τυπικών διατομών γεωμετρικά ανοιχτών ή κλειστών αγωγών. Οι διατομές των ανοιχτών αγωγών μπορούν να αναπαρασταθούν με ορθογώνιες, τραπεζοειδείς ή ακανόνιστες διατομές, όπως αυτές ορίζονται από τον χρήστη. Το πρόγραμμα SWMM χρησιμοποιεί την εξίσωση Manning για να εκφράσει τη σχέση μεταξύ της παροχής, του εμβαδού της υγρής διατομής  $A$ , της υδραυλικής ακτίνας  $R$  και της κλίσης  $S$ . Σημειώνεται σε αυτήν την περίπτωση ότι η κλίση  $S$  λαμβάνεται είτε ως η κλίση του πυθμένα  $S_0$  είτε ως η κλίση τριβών  $S_f$  ανάλογα με τη μέθοδο διόδευσης. Η σχέση αυτή, για τις αμερικανικές μονάδες είναι η εξής:

$$Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (3.2)$$

Στην περίπτωση που η ροή στους αγωγούς γίνει υπό πίεση, χρησιμοποιείται η εξίσωση Hazen-Williams 3.2 όπου  $C_0$  είναι ο συντελεστής Hazen-Williams που εξαρτάται από την επιφανειακή τραχύτητα είτε η εξίσωση 3.3 του Darcy-Weisbach. Σύμφωνα με τη σχέση του Hazen-Williams παρατηρείται ότι δε λαμβάνεται υπόψη το είδος ροής, όπως συμβαίνει με τον συντελεστή τριβής  $f$ , αλλά υπάρχει ο συντελεστής  $C$  ο οποίος εξαρτάται από το υλικό του αγωγού και άρα είναι ίδιος για όλους τους αγωγούς που κατασκευάζονται από ίδιο υλικό με αποτέλεσμα να απλοποιεί την επίλυση. Οι εξισώσεις είναι οι εξής:

$$Q = 1.38C_0AR^{0.63}S^{0.54} \quad (3.3)$$

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} AR^{1/2} S^{1/2} \quad (3.4)$$

Οι διατομές των περισσότερων ανοιχτών αγωγών (τάφροι) μπορούν να είναι είτε ορθογωνικές ή τραπεζοειδείς ή να καθοριστούν από τον χρήστη και να έχουν ακανόνιστη μορφή. Προκειμένου να οριστούν αυτές οι διατομές, το πρόγραμμα SWMM διαθέτει ένα μη οπτικό αντικείμενο (Transect), που χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση της διατομής. Οι συνηθέστερες μορφές διατομών για αγωγούς ομβρίων και ακαθάρτων είναι οι κυκλικές, οι ελλειπτικές και οι ωοειδείς.

Οι υποχρεωτικές παράμετροι που καθορίζονται από το χρήστη για τους αγωγούς είναι οι εξής:

1. Τα ονόματα των κόμβων εισόδου και εξόδου
2. Τα μετατοπισμένα ύψη εισόδου και εξόδου, πάνω από τα υψόμετρα του πυθμένα των φρεατίων όπου πρόκειται να τοποθετηθεί ο αγωγός.
3. Το μήκος του αγωγού.
4. Ο συντελεστής τραχύτητας του Manning.

5. Η γεωμετρία της διατομής.

### **3.5.2 Τα μη οπτικά αντικείμενα του SWMM**

Το πρόγραμμα SWMM εκτός από τα οπτικά (φυσικά) αντικείμενα, τα οποία είναι άμεσα ορατά στην οθόνη, διαθέτει και μία σειρά από μη οπτικά αντικείμενα. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του δικτύου, καθώς και για να επιτελέσει τις επιμέρους λειτουργίες. Τα αντικείμενα αυτά είναι τα εξής:

#### *1. Εγκάρσιες Τομές*

Οι εγκάρσιες τομές αναφέρονται στα γεωμετρικά δεδομένα τα οποία περιγράφουν πώς μεταβάλλεται η κατά μήκος κλίση του πυθμένα σε μία διατομή ενός φυσικού καναλιού ή σε μία διατομή αγωγού ακανόνιστου σχήματος. Τα δεδομένα αυτά τα επεξεργάζεται ο χρήστης στο ειδικό παράθυρο του λογισμικού. Κάθε εγκάρσια τομή έχει μοναδικό όνομα στο οποίο οι αγωγοί αναφέρονται για να αναπαραστήσουν το σχήμα τους. Το πρόγραμμα μετατρέπει αυτά τα δεδομένα σε πίνακες εμβαδού, πλάτους στην ελεύθερη επιφάνεια, υδραυλική ακτίνα (υδραυλικά μεγέθη).

#### *2. Χρονοσειρές*

Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη μεταβολή των διαφόρων μεγεθών με το χρόνο. Ο χρόνος ορίζεται είτε με τη μορφή ωρών είτε με τη μορφή ημερομηνίας και ώρα της ημέρας από την αρχή της προσομοίωσης. Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν κυρίως:

1. Δεδομένα βροχόπτωσης
2. Δεδομένα εξάτμισης ή θερμοκρασίας
3. Ύψος στάθμης στα σημεία εκβολής
4. Υδρογραφήματα εξωτερικών εισροών στους κόμβους του συστήματος

### **3.5.3 Υπολογιστικές μέθοδοι**

Το πρόγραμμα SWMM αποτελεί ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτού χρόνου. Οι αρχές που εφαρμόζει το λογισμικό είναι η διατήρηση της μάζας, της ενέργειας και της ορμής. Το πρόγραμμα SWMM προκείμενου να μοντελοποιήσει την ποσότητα της απορροής των ομβρίων χρησιμοποιεί τις εξής μεθόδους:

1. Επιφανειακή απορροή
2. Υπόγεια νερά
3. Διόδευση πλημμύρας
4. Μεταβολή της ποιότητας του νερού
5. Διήθηση
6. Τήξη χιονιού
7. Επιφανειακή λίμναση

Αναλυτικότερα, οι υπολογιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή είναι οι εξής:

## 1.Επιφανειακή Απορροή

Η προσομοίωση της κίνησης του νερού της βροχόπτωσης αποτελείται από την επίγεια ροή και τη ροή στους αγωγούς. Στην επίγεια ροή κάθε επιφάνεια υπολεκάνης αντιμετωπίζεται ως μία μη γραμμική δεξαμενή. Οι εισροές προέρχονται από την βροχόπτωση και τις ανάντη υπολεκάνες. Οι υπολεκάνες υποδιαιρούνται σε τρεις υποπεριοχές που παριστάνουν δύο διαπερατές και χωρίς αποθήκευση ύδατος περιοχές και μία διαπερατή. Η ροή από κάθε υποπεριοχή οδηγείται σε ένα φρεάτιο. Η επίγεια ροή που παράγεται από κάθε μία από τις τρεις υποπεριοχές προκύπτει από τη θεώρησή τους ως μη γραμμικές ιδεατές δεξαμενές. Η χωρητικότητα αυτής της δεξαμενής ισούται με τη μέγιστη επιφανειακή αποθήκευση η οποία προκύπτει από την επιφανειακή λίμναση, την διύγρανση του εδάφους, καθώς και τη συγκράτηση του νερού από την φυτοκόμη. Η επιφανειακή απορροή παρατηρείται όταν το βάθος του νερού στην ιδεατή δεξαμενή είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη επιφανειακή αποθήκευση.

## 2.Διήθηση

Με τον όρο διήθηση νοείται η φυσική διεργασία διείσδυσης στο έδαφος ύδατος το οποίο προέρχεται από βροχόπτωση, τήξη χιονιού ή άρδευση. Κατά την είσοδο του νερού στο έδαφος η διήθηση εξαρτάται κυρίως από την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και την ύπαρξη ή όχι βλάστησης. Η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του εδάφους και την περιεχόμενη υγρασία. Ο ρυθμός διήθησης είναι μεταβλητός τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Εξαρτάται τόσο από την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων, όσο και από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την παρουσία ή όχι χλωρίδας, την περιεκτικότητα σε υγρασία του επιφανειακού εδάφους στην αρχή της βροχής, τη θερμοκρασία καθώς και από την ποιότητα του νερού της βροχής.

Παρόλο που για τον υπολογισμό της διήθησης έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, οι μεθοδολογίες ποσοτικής εκτίμησης της διήθησης δεν προσφέρουν τον επιθυμητό συνδυασμό ακρίβειας και ευκολίας εφαρμογής. Το σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει κάθε μεθοδολογία ποσοτικής εκτίμησης της διήθησης είναι η ισχυρή ανομοιογένεια και η ανισοτροπία των εδαφών (Κουτσογιάννης, 2011).

Το πρόγραμμα SWMM προσφέρει τρεις επιλογές για τη μοντελοποίηση της διήθησης:

### A) Εξίσωση του Horton

Το μοντέλο του Horton ισχύει σε συνθήκες επιφανειακής κατάκλυσης του εδάφους και προβλέπει εκθετικά φθίνουσα μορφή της εξέλιξης της έντασης της διήθησης από έναν αρχικό μέγιστο ρυθμό σε κάποιο ελάχιστο ρυθμό κατά την εξέλιξη μίας μεγάλης διάρκειας επεισοδίου βροχόπτωσης. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε εμπειρικές παρατηρήσεις και οι παράμετροι εισόδου που απαιτούνται είναι ο μέγιστος και ο ελάχιστος ρυθμός διήθησης, δηλαδή ουσιαστικά με τη χρήση ενός συντελεστή που περιγράφει πόσο γρήγορα μειώνεται ο ρυθμός εξέλιξης του φαινομένου. Η εξίσωση που πρότεινε ο Horton είναι η εξής:

$$f_s = f_c + (f_0 - f_c)e^{-k_d t} \quad (3.5)$$

Όπου:

$f_s$  = η διηθητική ικανότητα του εδάφους (mm/h)

$f_c$  = η ελάχιστη ή τελευταία τιμή του  $f_s$  (mm/h)

$f_0$  = η μέγιστη ή αρχική τιμή του  $f_s$  (mm/h)

$t$  = ο χρόνος από την έναρξη της διόδευσης (s)

$k_d$  = ο συντελεστής απόσβεσης ( $s^{-1}$ )

Η εφαρμογή της σχέσης αυτής απαιτεί τον πειραματικό προσδιορισμό των τριών παραμέτρων  $f_c$ ,  $f_0$  και  $k_d$ , που παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες στην πράξη.

#### B) Εξίσωση των Green-Ampt

Σύμφωνα με τη μέθοδο των Green-Ampt υπάρχει ένα απότομο μέτωπο διύγρανσης στην εδαφική στήλη, το οποίο ξεχωρίζει το έδαφος που περιείχε κάποιο ποσοστό αρχικής υγρασίας και βρίσκεται από κάτω από το κορεσμένο έδαφος που βρίσκεται από πάνω. Οι παράμετροι εισόδου που έχουν φυσικό νόημα είναι το έλλειμμα υγρασίας, που εξαρτάται από το πορώδες του εδάφους, η υδραυλική αγωγιμότητα και το ύψος μύζησης στο μέτωπο διαβροχής. Η εξίσωση των Green-Ampt σε διαφορική μορφή γράφεται ως εξής:

$$\frac{dF}{dt} = K \left( 1 + \frac{c \Delta \theta}{F} \right) \quad (3.6)$$

Όπου:

$F$  = το αθροιστικό ύψος διήθησης (m)

$c$  = η ανά μονάδα βάρους ενέργεια του νερού που οφείλεται στις δυνάμεις μύζησης (m)

$K$  = η υδραυλική αγωγιμότητα (m/s)

$\Delta \theta$  = το έλλειμμα της υγρασίας που προκύπτει από τη σχέση:  $\Delta \theta = n - \theta_i$

Όπου:

$n$  = το πορώδες του εδάφους

$\theta_i$  = η αρχική εδαφική υγρασία

#### Γ) Μέθοδος αριθμού καμπύλης (SCS)

Στην μέθοδο αυτήν προσδιορίζεται η ικανότητα της συνολικής διήθησης του εδάφους από τον αριθμό καμπύλης CN. Η παράμετρος αυτή εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και τη διαπερατότητά του (τύπο A,B,C και D με μειούμενη διαπερατότητα) καθώς και από τον τύπο της υγρασίας και από τη χρήση γης. Κατά τη διάρκεια εξέλιξης του επεισοδίου της βροχόπτωσης η ικανότητα αυτή μειώνεται συναρτήσει της συσσωρευτικής βροχόπτωσης και της απομένουσας χωρητικότητας.

#### 3. Διόδευση Ομοιόμορφης Ροής

Η διόδευση ομοιόμορφης ροής αναπαριστά τον απλούστερο τύπο διόδευσης, αφού θεωρείται ότι για κάθε χρονικό βήμα, η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη. Με αυτόν τον τρόπο μετατοπίζεται το υδρογράφημα εισροής από το ανάντη άκρο στο κατάντη τέλος του αγωγού χωρίς καθυστέρηση ή αλλαγή στο σχήμα. Παρόλα αυτά, αυτός ο τύπος διόδευσης δεν εξηγεί την αποθήκευση στα κανάλια, την αναστροφή της ροής ή τη ροή υπό πίεση. Συνεπώς, η διόδευση αυτής της μορφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε δενδριτικά δίκτυα, όπου κάθε κόμβος έχει έναν και μοναδικό σύνδεσμο εκροής.

#### 4. Διόδευση Κινηματικού Κύματος



Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο διόδευσης του κινηματικού κύματος επιλύεται η εξίσωση συνέχειας μαζί με την απλοποιημένη εξίσωση ορμής σε κάθε αγωγό του συστήματος. Σύμφωνα με την απλοποιημένη εξίσωση της ορμής απαιτείται η κλίση της επιφάνειας του νερού να ισούται με την κλίση του αγωγού. Η μέγιστη ροή που μπορεί να μεταφερθεί σε έναν αγωγό είναι η τιμή της πλήρους ομοιόμορφης ροής. Με αυτόν τον τρόπο κάθε ροή που εισέρχεται στο σύστημα μπορεί είτε να χαθεί από το σύστημα είτε να λιμνάσει πάνω από τον αγωγό και να επανεισαχθεί σε αυτόν όταν η χωρητικότητα επανέλθει σε διαθέσιμο επίπεδο. Σύμφωνα με τη μέθοδο διόδευσης του κινηματικού κύματος αγνοούνται απώλειες εισόδου/εξόδου, η αναστροφή της ροής ή η ροή υπό πίεση, ενώ μέσω της συγκεκριμένης διόδευσης μπορεί να επιτευχθεί αριθμητική σταθερότητα με χρονικά βήματα της τάξης των 5 έως 15 λεπτών. Εάν οι συνέπειες θεωρηθούν αμελητέες τότε η διόδευση αυτή θεωρείται αποτελεσματική.

### 5. Διόδευση Δυναμικού Κύματος

Η διόδευση δυναμικού κύματος παράγει θεωρητικά τα πιο ακριβή αποτελέσματα καθώς επιλύει τις μονοδιάστατες εξισώσεις ροής του Saint-Venant. Οι εξισώσεις αυτές είναι οι εξισώσεις συνέχειας και ορμής στους αγωγούς και από μία εξίσωση συνέχειας του όγκου στους κόμβους. Με αυτή τη μορφή της διόδευσης αναπαρίσταται η ροή υπό πίεση όταν ένας κλειστός αγωγός γεμίζει. Η πλημμύρα εμφανίζεται όταν το βάθος του νερού σε έναν κόμβο ξεπερνάει το μέγιστο δυνατό βάθος και τότε η περίσσεια ροής είτε χάνεται είτε λιμνάζει πάνω από τον κόμβο και επανεισάγεται στο αποχετευτικό σύστημα. Η διόδευση του δυναμικού κύματος λαμβάνει υπόψη την αποθήκευση στα κανάλια, τα φαινόμενα της επίδρασης εκ των κατάντη, τις απώλειες εισόδου/εξόδου, την αναστροφή της ροής ή τη ροή υπό πίεση. Τα χρονικά βήματα κατά τη διόδευση δυναμικού κύματος είναι πολύ μικρότερα από αυτά της διόδευσης του κινηματικού κύματος και είναι της τάξης του λεπτού ή και λιγότερο.

### 6. Επιφανειακή Λίμναση (Surface Ponding)

Κατά τη διόδευση της πλημμύρας, όταν σε έναν κόμβο ξεπεραστεί η χωρητικότητα που έχει το σύστημα για να τη μεταφέρει κατάντη, η περίσσεια του όγκου υπερχειλίζει και χάνεται. Το πρόγραμμα SWMM διαθέτει την ιδιότητα η περίσσεια του όγκου αυτού να αποθηκεύεται πάνω από έναν κόμβο και να επανεισαχθεί στη συνέχεια στο σύστημα, αν το επιτρέπει η χωρητικότητά του. Όταν οι συνθήκες είναι ομοιόμορφης ροής και κινηματικού κύματος, το λιμνάζον νερό αποθηκεύεται ως περίσσεια όγκου νερού. Όμως, κατά τη διόδευση του δυναμικού κύματος, γίνεται η υπόθεση ότι η περίσσεια όγκου λιμνάζει πάνω από έναν κόμβο με σταθερή επιφάνεια χώρου. Εναλλακτικά, στα συστήματα ανοιχτών αγωγών, η επιφανειακή υπερχειλίση μπορεί να περιέχει υπερχειλίσεις δρόμων στις γέφυρες ή σε διασταυρώσεις οχτών, καθώς και σε άλλους πρόσθετους επιφανειακούς χώρους αποθήκευσης επιφανειακών νερών. Στα συστήματα των κλειστών αγωγών, η επιφανειακή υπερχειλίση μεταφέρεται μέσω των δρόμων, διόδων και άλλων επιφανειακών διαδρομών στο επόμενο διαθέσιμο φρεάτιο ομβρίων ή ανοιχτό αγωγό.

## 3.6 Επιλογές προσομοίωσης

Προκειμένου να καθοριστεί ο τρόπος που θα εξελιχθεί η προσομοίωση του αποχετευτικού συστήματος ομβρίων, το πρόγραμμα SWMM διαθέτει έναν αριθμό επιλογών οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

### 3.6.1 Επιλογές προσομοίωσης

Οι επιλογές που πρέπει να καθοριστούν είναι οι εξής:

*Μοντέλα φυσικών διεργασιών (Process models):* Οι επιλογές που υπάρχουν είναι οι εξής: Rainfall/Runoff, Flow Routing, Snow Melt, Groundwater, Water Quality. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται τα δύο πρώτα μοντέλα, δηλαδή το μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής και το μοντέλο διόδευσης πλημμύρας.

*Μοντέλο διήθησης (Infiltration models):* Με την επιλογή αυτή καθορίζεται ο τρόπος μοντελοποίησης της διείσδυσης της βροχόπτωσης στην άνω εδαφική ζώνη των λεκανών. Οι επιλογές για την εκτίμηση της διήθησης είναι η μέθοδος Horton, η μέθοδος Green-Ampt, και SCS που περιγράφηκαν παραπάνω. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία είναι αυτή του αριθμού καμπύλης της SCS.

*Μοντέλο διόδευσης (Routing model):* Σύμφωνα με αυτήν την επιλογή καθορίζεται ο τρόπος που θα γίνει η διόδευση της πλημμύρας στο αποχετευτικό σύστημα ομβρίων. Το SWMM διαθέτει τρία μοντέλα διόδευσης. Steady flow, Kinematic Wave, Dynamic Wave. Υποχρεωτικά πρέπει να επιλεγεί ένα μοντέλο.

*Λίμναση (Ponding):* Όταν το πεδίο αυτό είναι επιλεγμένο, το πρόγραμμα επιτρέπει στο νερό να υπερχειλίσει πάνω από τους κόμβους και να επανεισαχθεί στο σύστημα.

*Αναφορά των δεδομένων εισαγωγής (Report Input Data):* Όταν το πεδίο αυτό είναι επιλεγμένο, στην αναφορά των τελικών αποτελεσμάτων της προσομοίωσης εμφανίζονται και τα δεδομένα εισαγωγής.

*Ελάχιστη κλίση των αγωγών (Minimum conduit slope):* Σύμφωνα με αυτήν την επιλογή καθορίζεται η μικρότερη δυνατή κλίση που επιτρέπεται για έναν αγωγό (σε ποσοστό %). Αν το πεδίο αυτό μείνει κενό, τότε αυτόματα θεωρείται από το πρόγραμμα ότι 0.00035 m είναι η ελάχιστη υψομετρική διαφορά δύο διαδοχικών κόμβων.

### 3.6.2 Επιλογές χρόνων έναρξης και λήξης της πλημμύρας (Date options)

Ουσιαστικά με τις παρακάτω επιλογές, ο χρήστης επιλέγει τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης της προσομοίωσης του πλημμυρικού φαινομένου.

*Έναρξη της προσομοίωσης (Start analysis on):* Εισαγωγή της ημερομηνίας (μήνας/μέρα/χρονολογία) και ώρας που ξεκινάει η προσομοίωση.

*Έναρξη αναφοράς αποτελεσμάτων (Start reporting results):* Με αυτήν την εντολή, καθορίζεται η έναρξη αναφοράς των αποτελεσμάτων με τη συμπλήρωση των πεδίων ημερομηνίας και ώρας. Αυτή η ημερομηνία μπορεί να ταυτίζεται με τη χρονική έναρξη της προσομοίωσης ή και μετά από αυτήν.

*Λήξη της προσομοίωσης (End Analysis):* Καθορίζεται η λήξη της προσομοίωσης με τη συμπλήρωση της ώρας και της ημερομηνίας.

*Έναρξη καθαρισμού των δρόμων (Start sweeping On):* Καθορίζεται η ημέρα που ξεκινάνε οι λειτουργίες καθαρισμού των δρόμων.

*Λήξη καθαρισμού των δρόμων (End sweeping on):* Καθορίζεται η ημέρα που λήγουν οι λειτουργίες καθαρισμού των δρόμων.

*Προηγούμενες ξηρές μέρες πριν από την έναρξη της βροχόπτωσης (Antecedent Dry Days):* Εισάγονται οι ημέρες με μηδενική βροχόπτωση πριν από την έναρξη της προσομοίωσης. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκαν οι μέρες με μηδενική βροχόπτωση να είναι 5.

### **3.6.3 Επιλογές χρονικού βήματος (Time Step Options)**

Σε αυτό το σημείο απαραίτητη παράμετρος για τον υπολογισμό της απορροής και της διόδευσης αποτελεί το χρονικό βήμα εμφάνισης των αποτελεσμάτων. Τα χρονικά βήματα έχουν την αναλυτική μορφή «ώρα:λεπτά:δευτερόλεπτα», εκτός από το χρονικό βήμα της διόδευσης που εισάγεται σε δευτερόλεπτα (Τσεκούρα, 2010). Το πρόγραμμα έχει τις εξής επιλογές:

*Χρονικό βήμα αναφοράς αποτελεσμάτων (Reporting Time Step):* Καθορίζεται με αυτόν τον τρόπο το βήμα εμφάνισης των υπολογιζόμενων αποτελεσμάτων.

*Χρονικό βήμα σε υγρή περίοδο μελέτης (Runoff-Wet weather Time Step):* Καθορίζεται το χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς της απορροής των λεκανών σε περιόδους βροχόπτωσης ή σε περιόδους που το λιμνάζον νερό παραμένει στην επιφάνεια.

*Χρονικό βήμα σε ξηρή περίοδο μελέτης (Runoff-Dry weather Time Step):* Καθορίζεται το χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς της απορροής των λεκανών όταν δεν υπάρχει βροχόπτωση. Το βήμα αυτό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το χρονικό βήμα σε υγρή περίοδο μελέτης.

*Χρονικό βήμα διόδευσης (Routing Time Step):* Το βήμα αυτό εισάγεται σε δευτερόλεπτα. Η μέθοδος δυναμικού κύματος απαιτεί πολύ μικρότερο χρονικό βήμα, λόγω της πολυπλοκότητας των υπολογισμών.

### **3.6.4 Επιλογές για τη διόδευση του δυναμικού κύματος**

Οι επιλογές της δυναμικής μεθόδου είναι οι εξής:

*Αδρανειακοί όροι της εξίσωσης Saint-Venant (Inertial Terms):* Με τον καθορισμό των παραμέτρων αυτών ορίζεται ποιός είναι ο ρόλος των αδρανειακών όρων (τοπική και μεταθετική επιτάχυνση) στις εξισώσεις ορμής του Saint-Venant. Οι επιλογές αυτές είναι οι εξής:

1.Keep: Με την επιλογή αυτή διατηρούνται οι αδρανειακοί όροι κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες.

2.Dampen: Με την επιλογή αυτή οι όροι μειώνονται όσο η ροή τείνει να γίνει κρίσιμη και αγνοούνται εντελώς όταν γίνει υπερκρίσιμη.

3. Ignore: Με την τελευταία επιλογή αγνοούνται οι όροι αυτοί και ουσιαστικά παράγεται μία λύση κύματος διάχυσης, που είναι και αυτή που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή.

*Ορισμός υπερκρίσιμης ροής (Define Supercritical Flow By):* Καθορίζεται με ποιο κριτήριο η ροή θα θεωρείται υπερκρίσιμη: Είτε με την κλίση της επιφάνειας του νερού, είτε με τον αριθμό Froude ή και με τα δύο σε συνδυασμό.

*Εξίσωση υπολογισμού απωλειών τριβής (Force Main Equation):* Καθορίζεται με αυτήν την επιλογή ποιά εξίσωση θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των απωλειών τριβής στους υπό πίεση κυκλικούς αγωγούς. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται είτε με την εξίσωση του Hazen-Williams είτε με την εξίσωση του Darcy-Weisbach.

*Χρήση μεταβλητού χρονικού βήματος:* Καθορίζεται έτσι ένα μεταβλητό χρονικό βήμα διόδευσης και ένας παράγοντας προσαρμογής για την εφαρμογή αυτού του βήματος.

### **3.7 Το λογισμικό ArcGIS 10.1**

#### **3.7.1 Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους**

Προκειμένου να χαραχθούν οι λεκάνες, αλλά και για τον προσδιορισμό των κλίσεων κλπ κρίθηκε απαραίτητος ο σχηματισμός του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Τα πρωτογενή δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι τα σημεία της εταιρείας Κτηματολόγιο ΑΕ. Για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 10.1, ενώ βασική πηγή πληροφορίας αποτέλεσαν τα σημεία της Κτηματολόγιο Α.Ε.

### **3.8 Το λογισμικό AutoCAD**

#### **3.8.1 Δημιουργία των αστικών λεκανών**

Προκειμένου να γίνει η μελέτη και η διαστασιολόγηση των αστικών δικτύων αποχέτευσης απαιτείται, σύμφωνα με τους κανόνες της αστικής υδρολογίας, η διχοτόμηση των οικοδομικών τετραγώνων σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές. Για να πραγματοποιηθεί η διχοτόμηση των οικοδομικών τετραγώνων του Δήμου, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AutoCAD. Με τη διαδικασία αυτή, δημιουργήθηκαν οι διχοτόμοι των γωνιών και στη συνέχεια, χωρίστηκαν τα οικοδομικά τετράγωνα σε υπολεκάνες. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά, καταχωρήθηκαν στο ArcGIS και μαζί με τις περιστατικές λεκάνες που προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, σχηματίστηκε η τελική περιοχή.

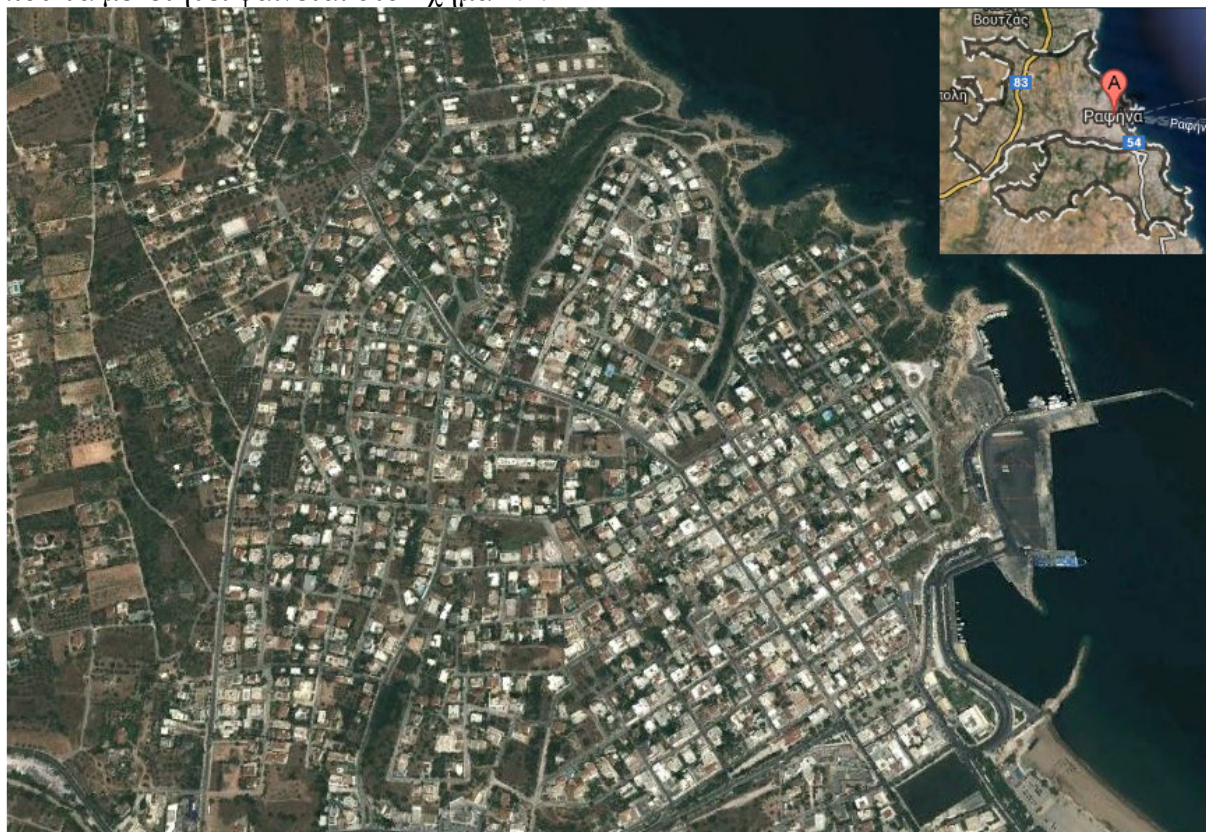


## 4 Η περιοχή μελέτης

---

### 4.1 Γενική Περιγραφή

Η περιοχή μελέτης είναι η αστική λεκάνη της Ραφήνας. Από την έκταση αυτή, ένα τμήμα απορρέει στην θάλασσα και το υπόλοιπο, μέσω του δικτύου αποχέτευσης ομβρίων στο ρέμα της Ραφήνας σύμφωνα με τα στοιχεία της τεχνικής υπηρεσίας του δήμου. Η Ραφήνα είχε ένα δίκτυο ομβρίων συνολικής έκτασης 1.600 m σύμφωνα με το επιχειρησιακό πρόγραμμα του δήμου το έτος 2007 και το οποίο σύμφωνα με την τελευταία αναβάθμιση του 2008 έχει συνολική έκταση 6.260 m. Η λεκάνη αυτή αποτελείται τόσο από το αστικό τμήμα της περιοχής που αποτελεί την εντός σχεδίου περιοχή με έκταση 60.5 εκτάρια, όσο και από το περιαστικό τμήμα. Η συνολική έκταση αυτή υπολογίσθηκε ίση με 128.95 εκτάρια. Η περιοχή που θα μελετηθεί φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Δορυφορική άποψη της περιοχής μελέτης. Πηγή: Google earth

## 4.2 Περιγραφή της κατάστασης με την πρόσφατη αναβάθμιση του δικτύου αποχέτευσης ομβρίων

Σκοπός της εργασίας αυτής αποτελεί η προσομοίωση του συστήματος σε αστικές συνθήκες, δηλαδή με την κατάσταση όπως αυτή είναι σήμερα. Σημειώνεται σε αυτήν την περίπτωση ότι μέρος του δικτύου παρέμεινε όπως είχε από το 2007, ενώ αναβαθμίστηκε το 2008 με την προσθήκη κάποιων αγωγών και το 2010 πραγματοποιήθηκε μία ακόμη αναβάθμιση του συστήματος, για την οποία όμως δε βρέθηκαν στοιχεία. Το δίκτυο αυτό σχεδιάστηκε με την ορθολογική μέθοδο, όμως δεν διευκρινίζεται με ποια όμβρια καμπύλη υπολογίστηκαν οι παροχές καθώς επίσης δεν αναφέρεται και η περίοδος επαναφοράς σύμφωνα με την οποία σχεδιάστηκε το δίκτυο. Παρόλα αυτά, οι παροχές που είναι καταγεγραμμένες στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν στο τέλος της ανάλυσης τόσο για τον έλεγχο της διαδικασίας, όσο και για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου. Σημειώνεται επίσης ότι βασικό μειονέκτημα της μελέτης αποτελούν οι λεκάνες απορροής, καθώς δε διευκρινίζεται ο τρόπος με τον οποίον σχηματίστηκαν, αλλά ούτε συνάδουν με το ανάγλυφο της περιοχής. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η παρακολούθηση της υδραυλικής συμπεριφοράς του συστήματος με την εφαρμογή της όμβριας καμπύλης που εφαρμόστηκε στη διευθέτηση του ρέματος της Ραφήνας. Τα υετογράμματα βροχόπτωσης που θα εφαρμοστούν αναφέρονται σε περιόδους επαναφοράς 5 έως 25 έτη. Όσον αφορά στις βροχές μεγαλύτερης περιόδου επαναφοράς, είναι εφικτός ο υπολογισμός των διαφόρων υδραυλικών μεγεθών, αλλά όχι η πραγματοποίηση της διόδευσης. Για αυτό το λόγο, οι βροχές αυτές θα μελετηθούν στα πλαίσια του δυναμικού συστήματος αποχέτευσης.

### 4.2.1 Βασικές παραδοχές της μελέτης

Εξαιτίας της έλλειψης πρωτογενών δεδομένων, αλλά και για να απλουστευτούν οι εργασίες επίλυσης, έγιναν κάποιες παραδοχές προκειμένου να παρακαμφθούν οι δυσκολίες που προκύπτουν στην πορεία. Οι παραδοχές αυτές γίνονται με γνώμονα την καλύτερη δυνατή προσέγγιση και επίλυση του πραγματικού προβλήματος, χωρίς να επιφέρουν αλλοιώσεις και μεταβολές. Η μοντελοποίηση του συστήματος αποχέτευσης όμβριων υδάτων της περιοχής της Ραφήνας έγινε με σκοπό την μελέτη των γεγονότων βροχόπτωσης, για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς και για διάφορες διάρκειες ώστε να προβλεφθούν τα ενδεχόμενα πλημμυρικά γεγονότα. Η προσομοίωση του συστήματος έγινε σύμφωνα με τις εξής παραδοχές:

1) Το αποχετευτικό δίκτυο όμβριων υδάτων σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM σύμφωνα με τη μελέτη που εκπονήθηκε από την τεχνική υπηρεσία του δήμου Ραφήνας (2006). Η ένταση της βροχόπτωσης προσδιορίστηκε σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη 4.1.

$$i = a' \cdot t^{-0.54} \quad (4.1)$$

Πίνακας 4.1: Συντελεστής  $a'$  όμβριας καμπύλης προμελέτης (διευθέτησης) ρέματος Ραφήνας

$T$	$a'$	$T$	$a'$
2	22.16	50	58.21
5	29.17	100	71.66
10	35.91	500	116.14
20	44.22	1000	142.98
25	47.28	10000	285.28

Η οποία χρησιμοποιήθηκε από το γραφείο Μαχαίρα για το σχεδιασμό των υδραυλικών έργων αποχέτευσης ομβρίων της Αττικής Οδού- Μέσο τμήμα Ε.Λ.Ε.-Σ.-Σ.: Α.Κ. Μεταμόρφωσης- Α.Κ. Παλλήνης και Δυτική Περιφερειακή Λ. Υμηττού.

2) Όσον αφορά στις περιόδους επαναφοράς άνω των 50 χρόνων, όπως ήταν αναμενόμενο οι περισσότεροι αγωγοί υπερπληρώθηκαν με αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμύρας. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διόδευση της πλημμύρας δημιουργήθηκε ένα δυαδικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από ένα υπόγειο και από ένα επιφανειακό αποχετευτικό δίκτυο, τα οποία βρίσκονται παράλληλα μεταξύ τους. Το υπόγειο σύστημα είναι το αρχικό σύστημα που σχεδιάστηκε, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης για να ανταποκριθεί σε γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς έως και 25 ετών. Το επιφανειακό σύστημα είναι αυτό των δρόμων, το οποίο σχεδιάστηκε ως ένα σύστημα ανοιχτών αγωγών με διατομή αυτή των δρόμων.

3) Οι διατομές των δρόμων που συνθέτουν το επιφανειακό αποχετευτικό σύστημα, εισήχθησαν στο λογισμικό σύμφωνα με τα τοπογραφικά διαγράμματα μελετών οδοποιίας της τεχνικής υπηρεσίας του δήμου της Ραφήνας κλίμακας 1:500 καθώς και με τη χρήση της πιλοτικής λειτουργίας της Κτηματολόγιο ΑΕ, που δίνει τη δυνατότητα για την άμεση και ταχύτερη εξαγωγή των στοιχείων των πεζοδρομίων (πλάτος δρόμων και πλάτος πεζοδρομίων). Οι επικλίσεις ελήφθησαν 2% για όλους τους δρόμους μέχρι 7 μέτρα και 2.5% για μεγαλύτερους των 7 m και η εγκάρσια κλίση 1.5%.

4) Για τη μοντελοποίηση του δικτύου αποχέτευσης, χρησιμοποιήθηκαν οι μηκοτομές κλίμακας 1:1000 και 1:100 σε συνδυασμό με την οριζοντιογραφία κλίμακας 1:1000 της τεχνικής υπηρεσίας του δήμου. Σημειώνεται ότι οι συντεταγμένες των φρεατίων, δηλαδή των σημείων εκβολής των λεκανών, ήταν άγνωστες, λόγω ελλιπούς πληροφορίας, για αυτό το λόγο τα φρεάτια προσδιορίστηκαν τόσο από τη μελέτη της Τεχνικής υπηρεσίας όσο και από επίπου παρατήρηση και στη συνέχεια αυτά τα στοιχεία καταγράφηκαν στο λογισμικό.

5) Όσον αφορά στα τμήματα των ήδη κατασκευασμένων αγωγών προ της μελέτης του 2006, μετρήθηκε το μήκος τους σύμφωνα με τα δεδομένα της οριζοντιογραφίας και από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που παρήχθη ορίστηκε το υψόμετρο του αγωγού. Όσον αφορά την κλίση, αυτή βρέθηκε από τα υψομετρικά σημεία που υπάρχουν μετρημένα στην περιοχή.

6) Η επάρκεια των υφιστάμενων αγωγών ομβρίων ελήφθη με συντελεστή τραχύτητας  $n = 0.016$  και με πλήρη πλήρωση.

7) Οι προτεινόμενοι αγωγοί ομβρίων υπολογίστηκαν με συντελεστή τραχύτητας  $n = 0.012$  και με πλήρωση 70%.

8) Ο σχεδιασμός των λεκανών απορροής έγινε σύμφωνα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που προέκυψε από δεδομένα της Κτηματολόγιο ΑΕ όπου στα οικοδομικά τετράγωνα ακολουθήθηκε ο κανόνας της Αστικής Υδρολογίας, ενώ στις περιαστικές περιοχές, οι λεκάνες χαραχθηκαν σύμφωνα με το ανάγλυφο της περιοχής.

9) Σύμφωνα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που προέκυψε, υπολογίστηκαν αντίστοιχα προσεγγιστικά και οι κλίσεις της κάθε λεκάνης.

10) Οι δρόμοι του δυαδικού συστήματος υπολογίστηκαν με συντελεστή τραχύτητας  $n = 0.016$ .



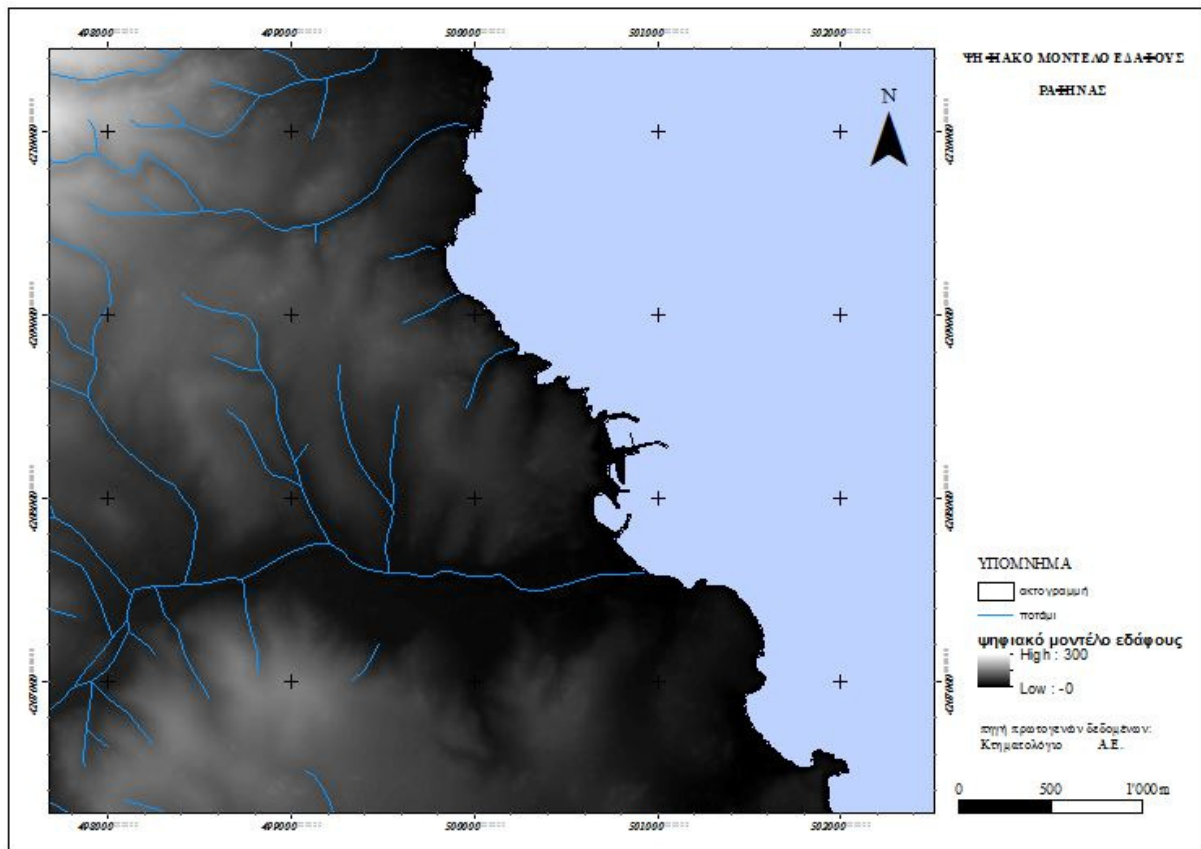
#### 4.2.2 Πορεία εργασιών

Προκειμένου να προσομοιωθεί το σύστημα στο λογισμικό SWMM απαιτούνται κάποιες εργασίες. Αρχικά, απαιτείται η εισαγωγή των διαφόρων υδρολογικών στοιχείων του προβλήματος και εν συνεχεία η καταγραφή των υδραυλικών στοιχείων. Συνοπτικά, η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- 1) Σχεδιασμός των λεκανών απορροής σύμφωνα με το λογισμικό ArcGIS και καταχώριση των λεκανών στο πρόγραμμα SWMM.
- 2) Συμπλήρωση των πεδίων που χαρακτηρίζουν μορφολογικά κάθε λεκάνη.
- 3) Εισαγωγή όλων των φρεατίων και καταχώριση της ονομασίας τους και των υψομέτρων του πυθμένα τους.
- 4) Εισαγωγή των κόμβων εκβολής και καταχώριση των υψομέτρων του πυθμένα τους
- 5) Σύνδεση των φρεατίων του συστήματος με τους αγωγούς
- 6) Συμπλήρωση των πεδίων που χαρακτηρίζουν τον κάθε αγωγό
- 7) Καταχώριση σημείου εξόδου κάθε λεκάνης
- 8) Δημιουργία υετογραμμμάτων για περιόδους επαναφοράς  $T = 5, 10, 25, 50, 100, 1000$  και  $10000$  και για διάρκειες βροχόπτωσης  $t = 1, 3, 6, 12$  h και με χρονικό βήμα  $10$  min.
- 9) Εισαγωγή ενός βροχογράφου από τον οποίον θα φορτώνονται κάθε φορά τα υετογράμματα.
- 10) Καθορισμός του μοντέλου διήθησης
- 11) Καθορισμός του μοντέλου προσομοίωσης
- 12) Καθορισμός διάρκειας βροχόπτωσης
- 13) Προσομοίωση του συστήματος και εξαγωγή αποτελεσμάτων

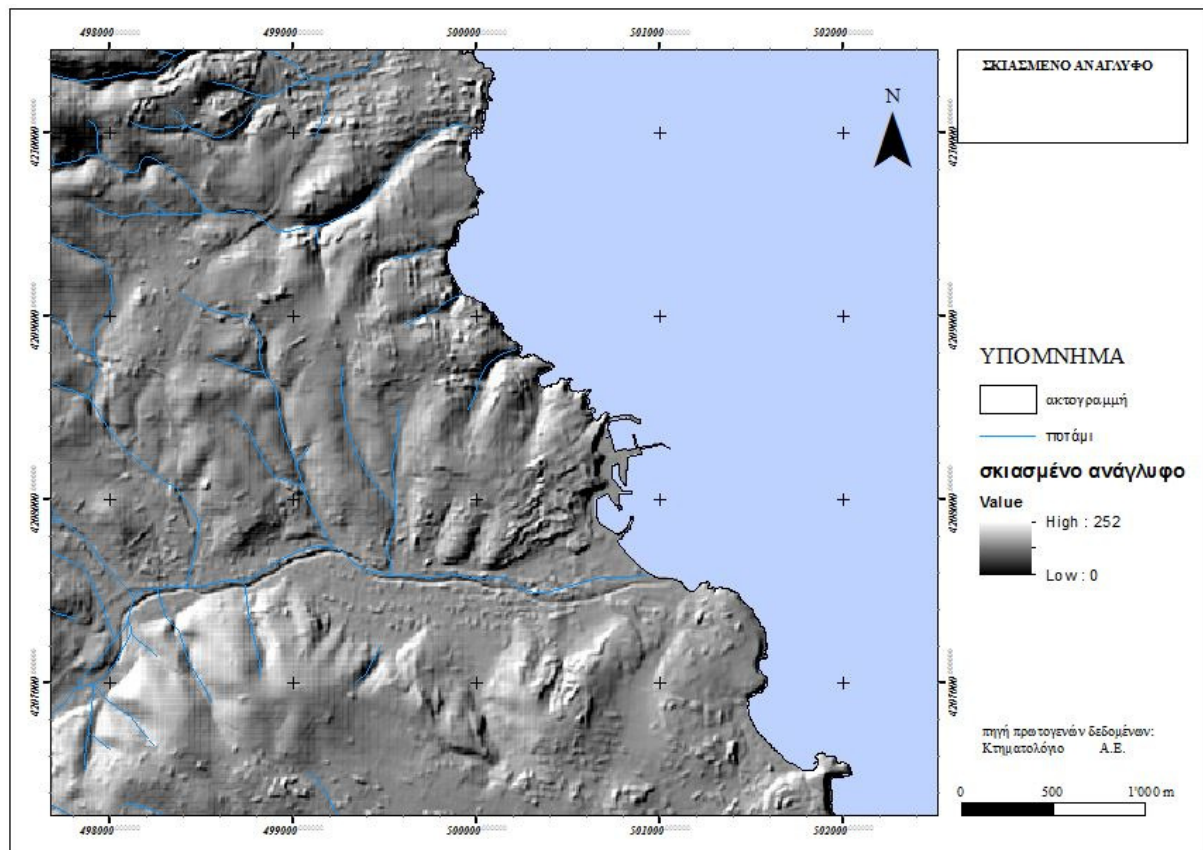
#### 4.2.3 Σχεδιασμός των λεκανών απορροής

Αρχικά δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 4.2 το οποίο σχηματίζεται από την πληροφορία που είναι καταχωρημένη στα σημεία που δόθηκαν. Επειδή όμως κατά τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους δημιουργούνται κάποια βυθίσματα, τότε εκτελείται η διαδικασία η οποία αποτελεί την πλήρωση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, έτσι ώστε να καλύπτονται κάποιες τοπικές ταπεινώσεις του αναπαριστώμενου αναγλύφου ή κάποια φατνία του καννάβου. Αυτές οι ταπεινώσεις οφείλονται συνήθως σε σφάλματα και ατέλειες του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και συνήθως κρίνεται σκόπιμο να εξαλείφονται με τη δημιουργία ενός καννάβου, παρόμοιο με τον αρχικό, όπου αυτές οι πολύ χαμηλές τιμές του υψομέτρου αντικαθίστανται από υψηλότερες, σύμφωνα με εκείνες των γειτονικών κελιών.



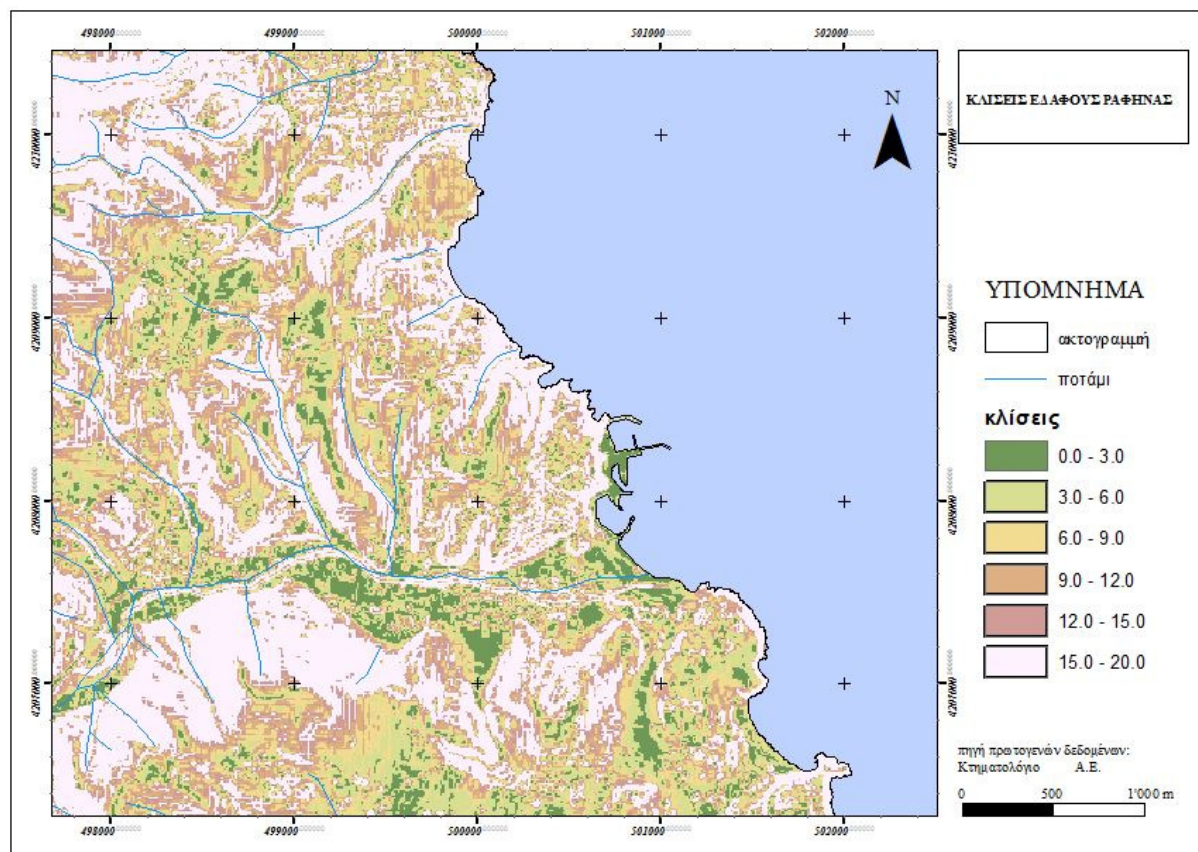
Σχήμα 4.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης μετά από την εντολή fill

Στη συνέχεια, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3, δημιουργήθηκε το σκιασμένο ανάγλυφο (hillshade) το οποίο απεικονίζει πιο έντονα το ανάγλυφο της περιοχής, λόγω της σκίασης που προσφέρει το πρόγραμμα. Σε αυτό το σχήμα καθίσταται ευκρινές το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης όπου θα χαραχθούν και στη συνέχεια οι λεκάνες απορροής.



Σχήμα 4.3: Σκιασμένο ανάγλυφο περιοχής μελέτης

Προκειμένου να εισαχθούν τα δεδομένα των λεκανών στο πρόγραμμα, εκτός από τη χάραξη τους απαιτείται και επιπρόσθετη πληροφορία τόσο των κλίσεων όσο και των χρήσεων γης. Στο Σχήμα 4.4, απεικονίζονται οι κλίσεις της περιοχής, όπως αυτές προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Σημειώνεται ότι οι κλίσεις αυτές δεν είναι αποτελούν πιστή απεικόνιση της πραγματικότητας, καθώς στην αστική περιοχή της Ραφήνας οι κλίσεις είναι πιο ήπιες λόγω της οικοδόμησης της περιοχής.

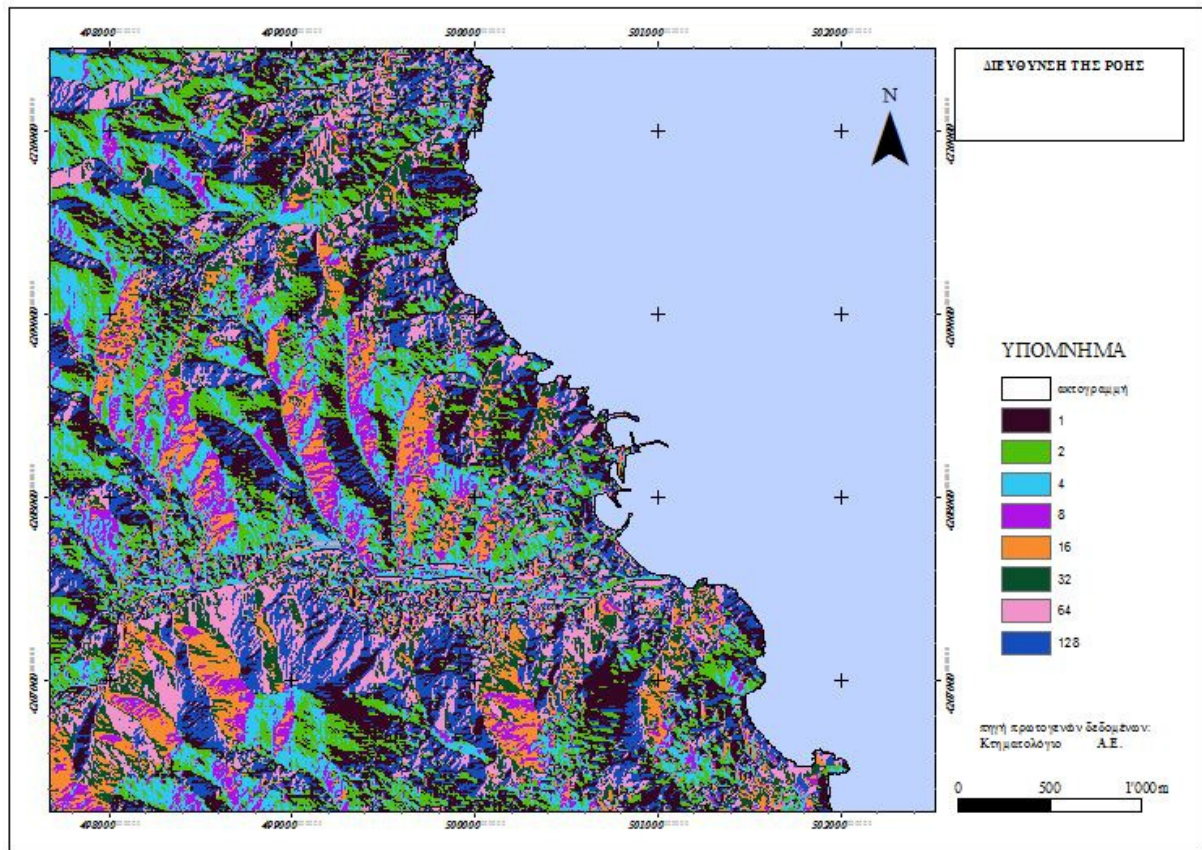


Σχήμα 4.4:Κλίσεις

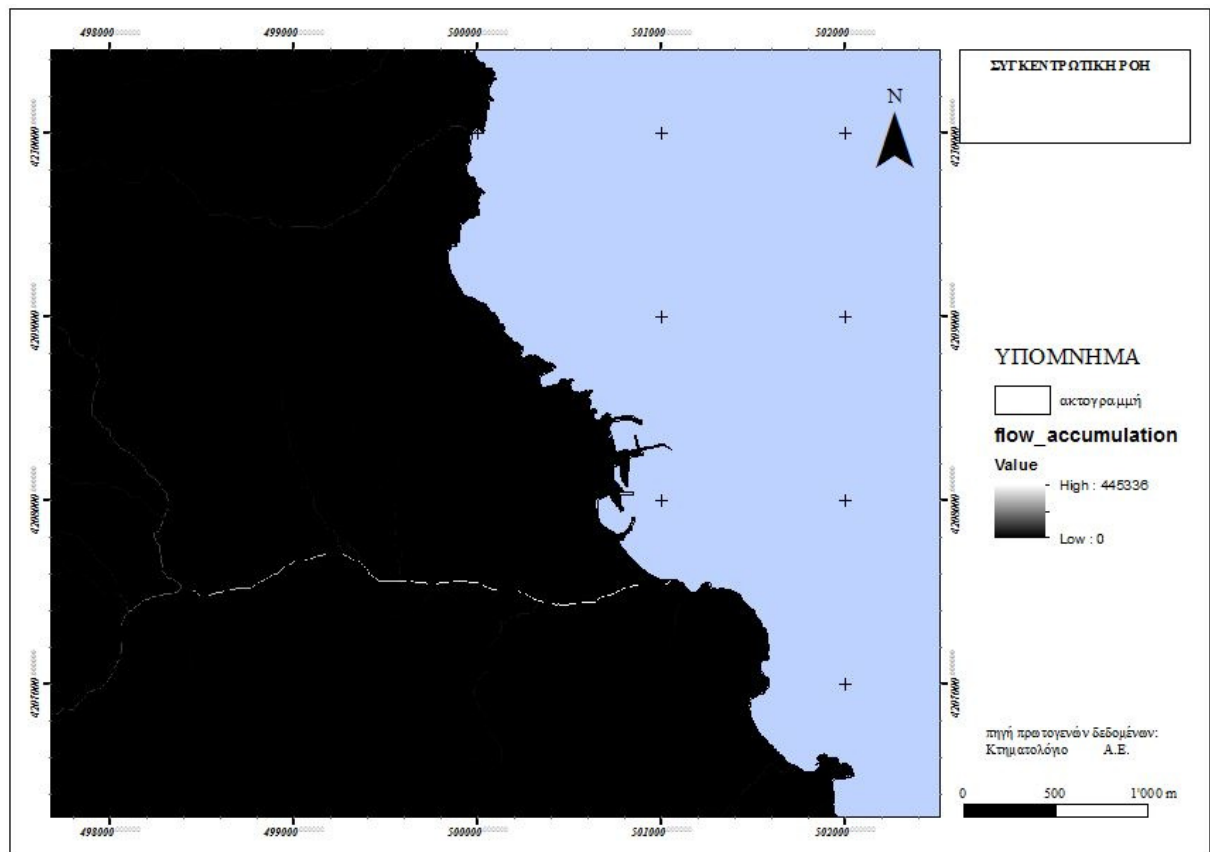
Σύμφωνα με το Σχήμα 4.4, παρατηρείται ότι οι κλίσεις της περιοχής είναι ιδιαίτερα απότομες. Παρόλα αυτά, πρέπει σε αυτήν την περίπτωση να σημειωθεί ότι οι κλίσεις στην αστική λεκάνη της Ραφήνας είναι πιο ήπιες, καθώς η περιοχή αυτή είναι οικοδομημένη και έχουν εξομαλυνθεί οι απότομες κλίσεις. Με αυτόν τον τρόπο επιλέγεται η πιο απότομη κλίση στην αστική περιοχή να είναι ίση με 15% που αποτελεί και την επιτρεπόμενη κλίση σε ασφαλτοστρωμένους δρόμους. Για αυτό το λόγο, οι κλίσεις που προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, χρησιμοποιήθηκαν μόνο στις περιστατικές λεκάνες και προσεγγιστικά ανάλογα με την περίπτωση για τις αστικές.

Προκειμένου να εξαχθούν οι περιστατικές λεκάνες, δηλαδή για να χαραχθεί ο υδροκρίτης, είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν διαδικασίες που αφορούν στη διεύθυνση της ροής ή στη συγκέντρωση της ροής. Στην πρώτη περίπτωση λοιπόν, δημιουργείται ένας νέος κάρναβος με καταχωρημένη την πληροφορία που αφορά στη διεύθυνση της ροής. Στην δεύτερη περίπτωση, δημιουργείται ένας νέος κάρναβος όπου αποτυπώνεται η πληροφορία που αφορά στα κελιά στα οποία συγκεντρώνεται η ροή του νερού. Χρησιμοποιώντας τον κάρναβο της κατεύθυνσης της ροής, δημιουργείται ένας καινούριος κάρναβος όπου για περιοχές κοντά στις κορυφογραμμές, δηλαδή στον υδροκρίτη αναμένονται τιμές κοντά στο μηδέν, ενώ για κεντρικές κοίτες των ποταμών αναμένονται πολύ υψηλές τιμές.



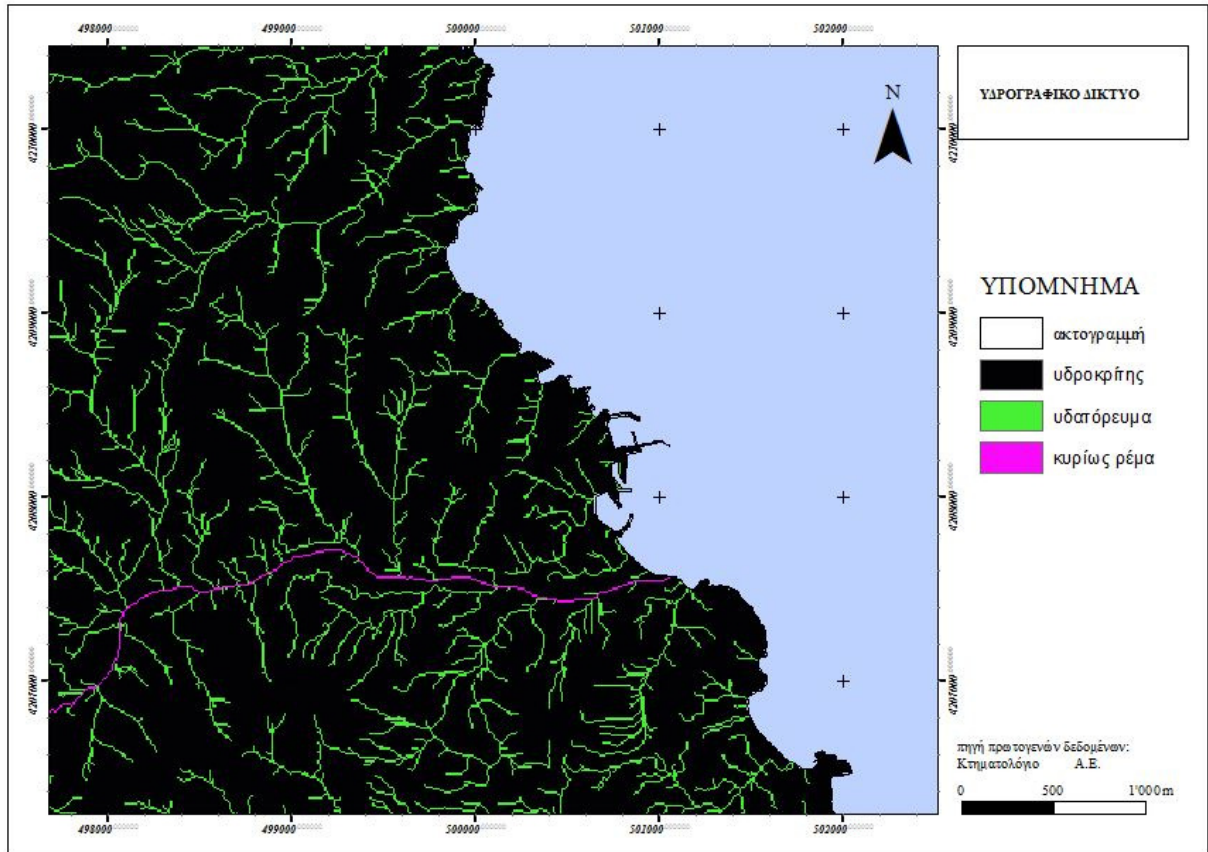


Σχήμα 4.5: Διεύθυνση της ροής του νερού στην περιοχή μελέτης



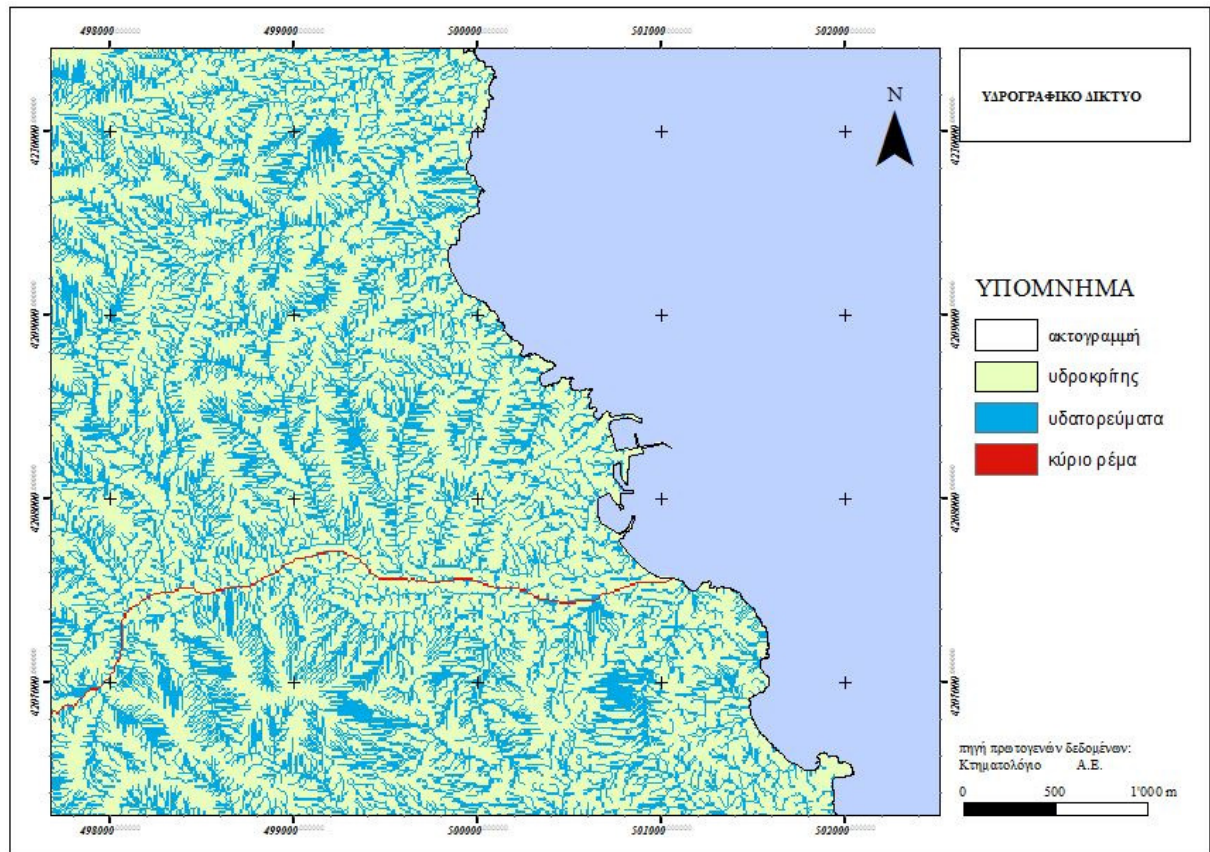
Σχήμα 4.6: Συγκεντρωτική ροή

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.6 της συγκεντρωτικής ροής, παρατηρείται ότι πέρα από το ρέμα της Ραφήνας δε διακρίνεται το υδρογραφικό δίκτυο και άρα ούτε και είναι εύκολη η χάραξη του υδροκρίτη. Για αυτό το λόγο, γίνεται ομαδοποίηση των κελιών με σκοπό να αναδειχθεί το υδρογραφικό δίκτυο και η διεύθυνση της ροής. Κατά την πρώτη δοκιμή ομαδοποίησης, όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 4.7, διακρίνεται το ρέμα της Ραφήνας καθώς και το κυρίως υδρογραφικό δίκτυο. Το μαύρο υπόβαθρο περιλαμβάνει τον υδροκρίτη, που όμως δεν είναι σαφώς ορισμένος. Γι' αυτόν το λόγο, το αποτέλεσμα αυτό δεν αρκεί για να μπορέσουν να χαραχθούν οι λεκάνες. Προκειμένου να χαραχθούν οι λεκάνες, απαιτείται το υδρογραφικό δίκτυο να είναι πιο πυκνό. Γι' αυτόν το λόγο, μετά από διαδοχικές ομαδοποιήσεις προέκυψε το Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.7: Ομαδοποίηση των ρεμάτων

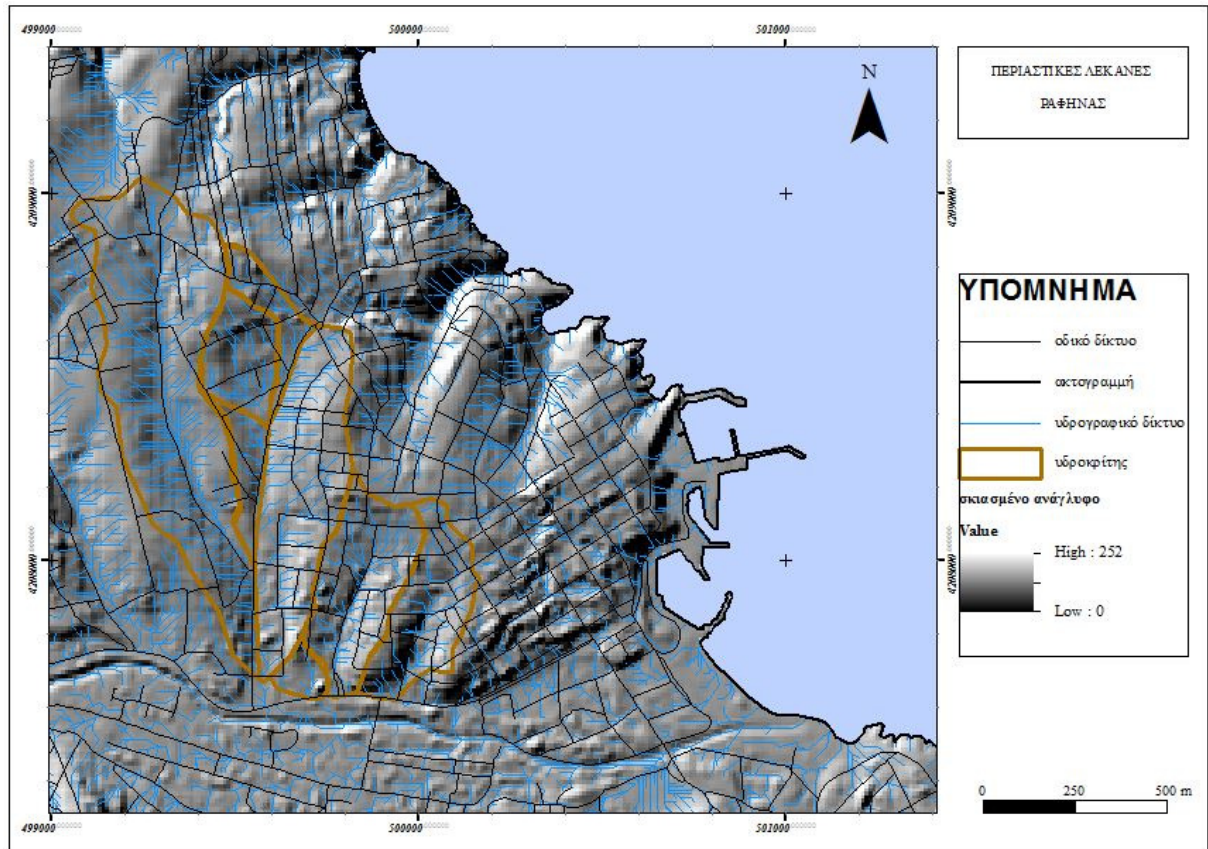
Στη συνέχεια, μετά από διαδοχικές ομαδοποιήσεις προκύπτει η τελική, όπου αυτήν τη φορά το υδρογραφικό δίκτυο επιλέγεται να γίνει πιο πυκνό, για να μπορέσουν να χαραχθούν οι λεκάνες. Η τελική δοκιμή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8: Τελική αναπαράσταση των ρεμάτων της περιοχής

Σύμφωνα λοιπόν με το παραπάνω αποτέλεσμα, καθίσταται ευκολότερος ο εντοπισμός των λεκανών, καθώς αποτελούν το μπλε τμήμα που περικλείει τα υδατορεύματα. Στη συνέχεια, προκειμένου να προσδιοριστεί η διεύθυνση της ροής εκτελείται η εντολή stream to feature ώστε το πινακοποιημένο αυτό αποτέλεσμα να γίνει διανυσματικό και να είναι πιο εύκολο στην επεξεργασία. Προκύπτει με αυτόν τον τρόπο και ο τελικός χάρτης όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9, με τις διευθύνσεις της ροής. Παρόλα αυτά, οι λεκάνες που προκύπτουν από αυτήν την επεξεργασία δεν είναι οι τελικές, καθώς το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να συνδυαστεί και με τη χάραξη των αστικών λεκανών και σύμφωνα με το δίκτυο ομβρίων αλλά και με τη μελέτη του Δήμου, ώστε συνολικά να προκύψουν οι λεκάνες και άρα να εκτιμηθεί τελικά και η απορροή τους. Σημειώνεται επίσης ότι η οδός Δημοκρατίας ουσιαστικά χωρίζει την αστική περιοχή από την περιαστική, όμως αν και κάποια οικοδομικά τετράγωνα έχουν οικοδομηθεί, κάποια άλλα καλύπτονται από καλλιέργειες και κατ'επέκταση σε αυτήν την περίπτωση η λεκάνη απορροής ορίζεται από τον υδροκρίτη.



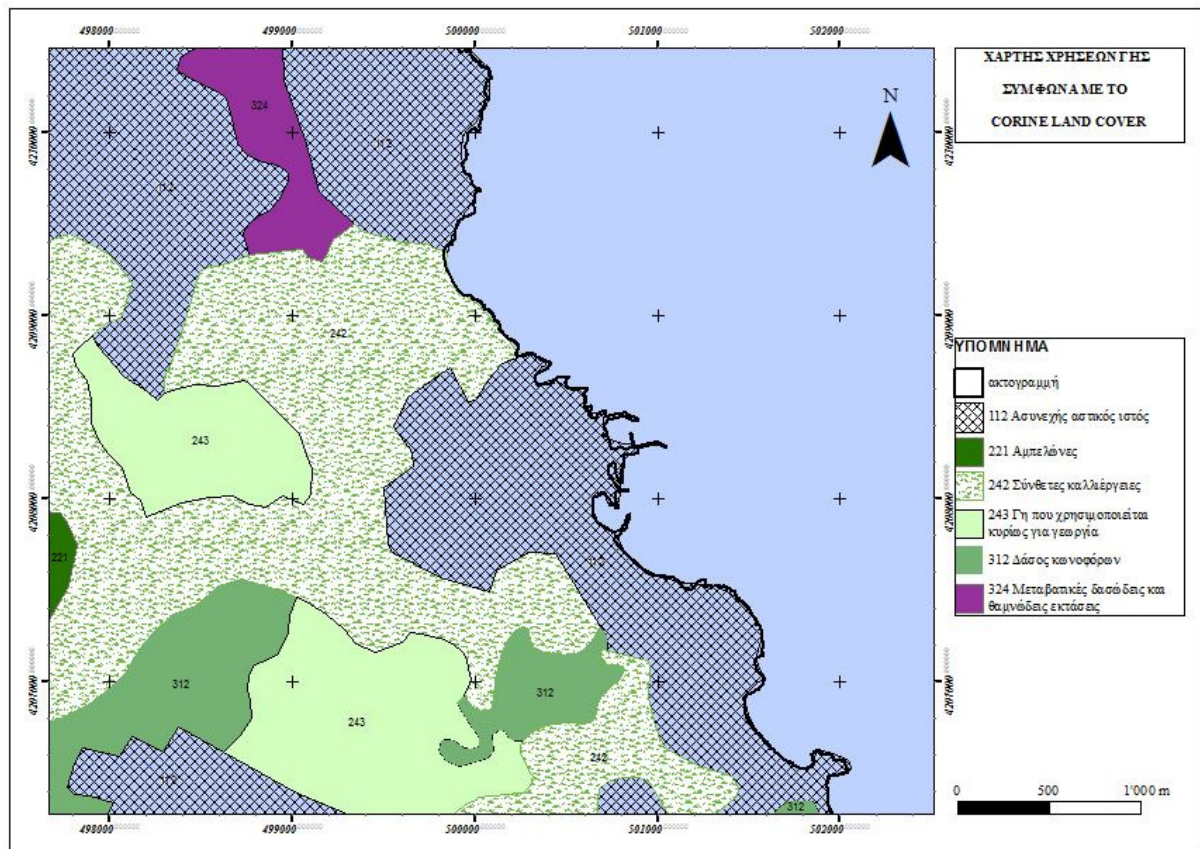


Σχήμα 4.910: Σχηματισμός των περιαστικών λεκανών

#### 4.2.4 Κάλυψη γης και χρήσεις γης

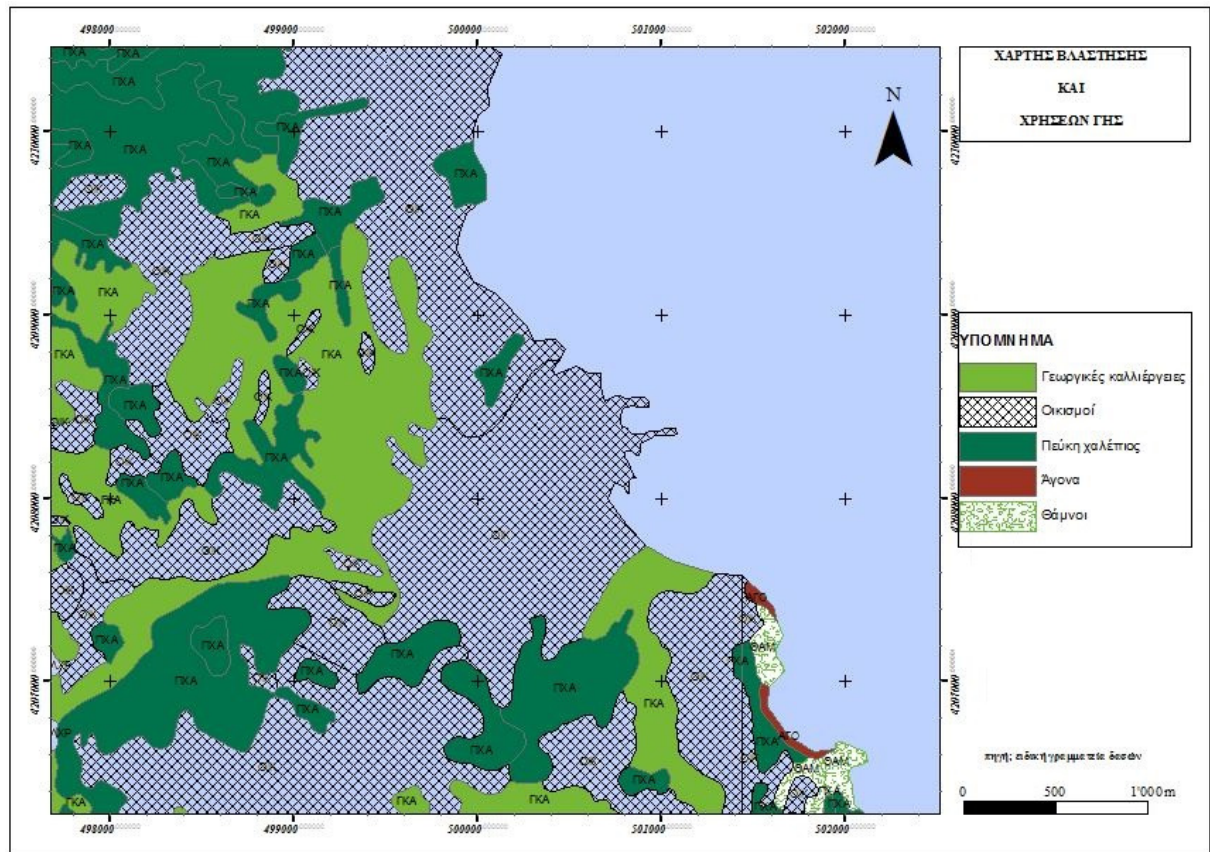
Το είδος της κάλυψης της γης έχει ιδιαίτερη σημασία για την υδρολογική συμπεριφορά τόσο της αστικής όσο και των περιαστικών λεκανών. Σύμφωνα με τα δεδομένα του corine land cover η περιοχή της Ραφήνας καλύπτεται κυρίως από τον ασυνεγή αστικό ιστό, ενώ το τμήμα των περιαστικών λεκανών καλύπτεται από σύνθετες καλλιέργειες, όπως φαίνεται και στον Σχήμα 4.10 που ακολουθεί.

Όσον αφορά στη γεωλογία της περιοχής, η περιοχή της Ραφήνας χαρακτηρίζεται κυρίως από εναλλασσόμενα στρώματα ψαμμύχων μαργών και ψαμμιτών συνεκτικών κροκαλοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων με συχνές παρεμβολές ερυθροπηλών, κυρίως στα ανώτερα τμήματα. Κατά μήκος των ακτών, στο νότιο τμήμα της Ραφήνας, κυριαρχούν οι αλλουβιακές αποθέσεις που αποτελούνται κυρίως από χαλαρά ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά (Αποστόλου, 2008).



Σχήμα 4.110:Χάρτης χρήσεων γης Corine Land Cover

Παρόλα αυτά, ο χάρτης χρήσεων γης δεν είναι επαρκής προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για το συντελεστή καμπύλης CN. Για αυτό το λόγο, προστέθηκε και ο χάρτης χρήσεων γης και βλάστησης από την ειδική γραμματεία δασών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11.

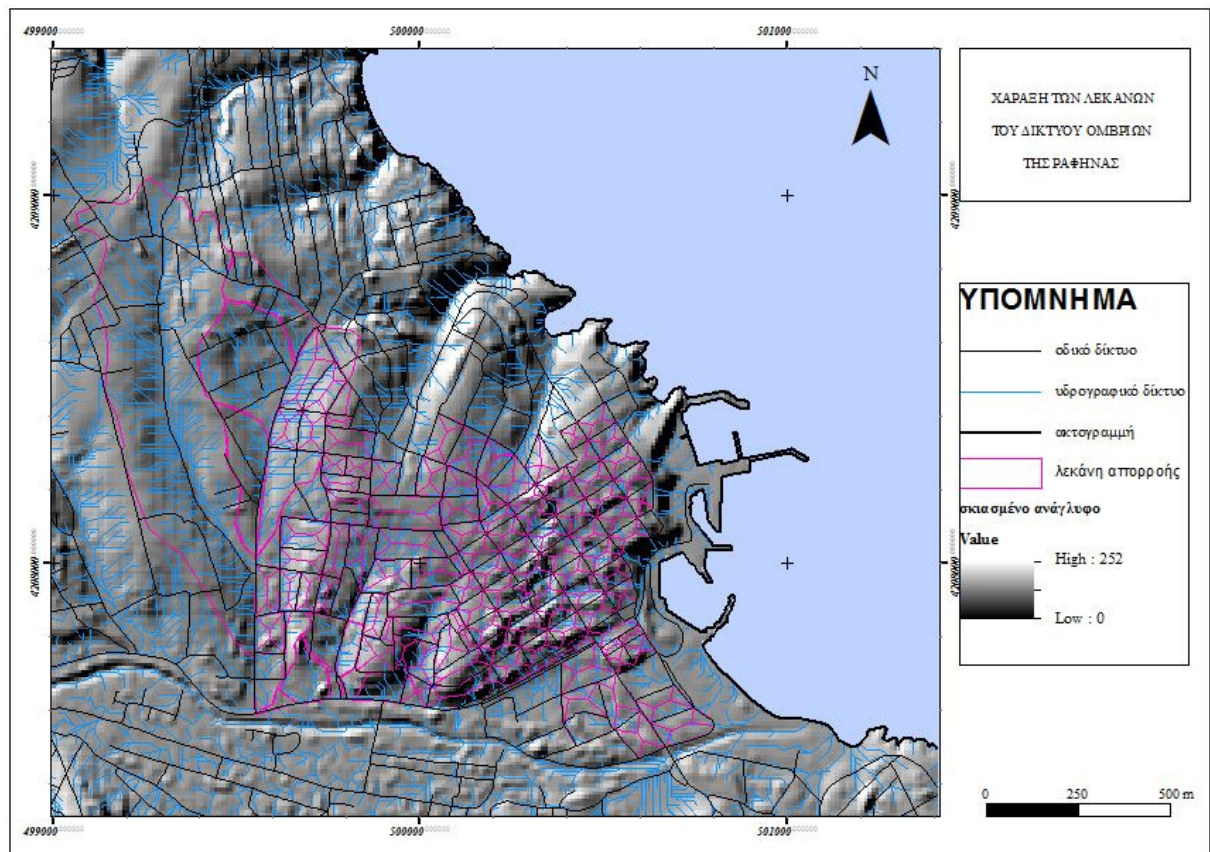


Σχήμα 4.11:Χάρτης βλάστησης και χρήσεων γης

Σύμφωνα λοιπόν με τους παραπάνω χάρτες, αλλά και με τη γεωλογία της περιοχής, το έδαφος της περιοχής της Ραφήνας χαρακτηρίζεται ως ημιπερατό. Στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε ο τύπος II με μέσες συνθήκες υγρασίας και για τις αστικές λεκάνες επιλέχθηκε ο αριθμός καμπύλης ίσος με 74, ενώ για τις περιαστικές επιλέχθηκε ο αριθμός καμπύλης 88, αφού σύμφωνα με το χάρτη κάλυψης και χρήσης γης οι περιαστικές περιοχές είναι καλλιέργειες. Σημειώνεται επίσης ότι ο χάρτης του Corine δεν είναι επικαιροποιημένος καθώς δημιουργήθηκε το 2000. Για αυτό το λόγο, ανάλογα με την κάθε λεκάνη, εκτιμήθηκε με επιτόπου παρατήρηση ποιος αριθμός καμπύλης θα συμπληρώνεται

Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι ο χωρισμός των λεκανών έγινε σε συνδυασμό και με τα σχέδια της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου, μόνο που στο αστικό τμήμα της περιοχής επιλέχθηκε ο χωρισμός των οικοδομικών τετραγώνων σύμφωνα με την αστική υδρολογία, ενώ στο περιαστικό και αραιά οικοδομημένο περιβάλλον, επιλέχθηκε η εφαρμογή του υδροκρίτη για να ορισθεί η λεκάνη. Σημειώνεται επίσης ότι δε διατίθεται σε ψηφιακή μορφή το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Δήμου της Ραφήνας και για αυτό το λόγο ο διαχωρισμός των αστικών και περιαστικών λεκανών έγινε προσεγγιστικά, ανάλογα με τις περιοχές που είναι εντός και εκτός σχεδίου. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω τα οικοδομικά τετράγωνα που χωρίστηκαν φαίνονται στο Σχήμα 4.12.





Σχήμα 4.12: Σχηματισμός των αστικών και περιαστικών λεκανών απορροής

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω σχήμα, οι λεκάνες που σχηματίζονται ουσιαστικά προκύπτουν από τη διχοτόμηση των οικοδομικών τετραγώνων, όμως σε τμήματα εντός της αστικής περιοχής που δεν έχουν οικοδομηθεί τότε επιλέγεται να χαραχθεί ο υδροκρίτης για να οριοθετηθεί η λεκάνη. Αυτή η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με ελέγχους στο πεδίο, ώστε να εντοπισθούν ποια τμήματα δεν έχουν οικοδομηθεί. Οι περιαστικές λεκάνες λοιπόν, που προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, σε συνδυασμό με τις αστικές λεκάνες οδήγησαν στη μοντελοποίησή τους. Οι λεκάνες σχηματίστηκαν σε συνδυασμό με τα δεδομένα της μελέτης, στην οποία δε διευκρινίζεται ο τρόπος χάραξής τους. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής που δεν έχει σχηματισμένες λεκάνες είναι γιατί απορρέει στη θάλασσα, χωρίς δίκτυο αποχέτευσης.

#### 4.2.5 Καταχώρηση χαρακτηριστικών παραμέτρων αστικών λεκανών στο SWMM

Προκειμένου να γίνει η προσομοίωση στο λογισμικό, απαιτείται ο καθορισμός κάποιων παραμέτρων. Οι παράμετροι είναι οι εξής:

##### *Εμβαδόν λεκανών απορροής*

Τα εμβαδά των λεκανών απορροής συμπληρώθηκαν σύμφωνα με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS και AutoCAD όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.12.

##### *Πλάτος*

Το πλάτος της επίγειας ροής προκύπτει από τη διαίρεση του εμβαδού της λεκάνης απορροής με το μήκος της επίγειας ροής. Το μήκος της διαδρομής του νερού σε μία αστική λεκάνη, είναι το μήκος από το τέρμα ενός τυπικού οικοδομικού τετραγώνου έως τον άξονα της πλησιέστερης οδού, δηλαδή περίπου 60 m. Θεωρήθηκε λοιπόν για όλες τις αστικές λεκάνες σταθερό μήκος επίγειας ροής ίσο με 60m και επομένως το πλάτος προκύπτει ίσο με:  $B = \frac{A}{60}$ , ενώ όσον αφορά στις περιαστικές λεκάνες, το πλάτος υπολογίστηκε ανάλογα με τη λεκάνη.

#### *Κλίση*

Η κλίση της αστικής λεκάνης προέκυψε μετά από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, όπου, όπως φαίνεται και στον χάρτη, η περιοχή παρουσιάζει τόσο ήπιες όσο και απότομες κλίσεις. Παρόλα αυτά, επειδή η λεκάνη είναι αστική και από τη στιγμή που έχει οικοδομηθεί η περιοχή οι κλίσεις λαμβάνονται από 2% έως και 15%. Η μέγιστη κλίση θεωρείται ότι είναι 15% καθώς, αυτή είναι και η μέγιστη επιτρεπόμενη σε δρόμους από ασφαλτο.

#### *Συντελεστής τραχύτητας*

Το πρόγραμμα SWMM χωρίζει τη λεκάνη σε διαπερατά και αδιαπέρατα τμήματα. Ο συντελεστής  $n$  των διαπερατών τμημάτων ελήφθη ίσος με 0.24 και ο συντελεστής των αδιαπέρατων ίσος με 0.015.

#### *Επιφανειακή Συγκράτηση*

Οι συντελεστές αυτοί αντιπροσωπεύουν την επιφανειακή συγκράτηση. Στο παράδειγμα θεωρείται ότι οι συντελεστές αυτοί είναι ίσοι με 7.61 mm και 1.52 mm.

#### *Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση*

Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση θεωρήθηκε ίσο με 25%.

#### *Μοντέλο διήθησης*

Το μοντέλο διήθησης που επιλέχθηκε είναι αυτό της μεθόδου SCS. Προκειμένου να ορισθεί ο αριθμός καμπύλης, χρησιμοποιήθηκε το Σχήμα 3.11 χρήσεων γης του Corine Land Cover καθώς και ο χάρτης βλάστησης και χρήσεων γης της Δασικής Υπηρεσίας. Σύμφωνα με την υγρασία του εδάφους, αυτό κατατάχθηκε στην κατηγορία C, δηλαδή εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Ενώ, όσον αφορά στη χρήση γης, στο αστικό κομμάτι θεωρήθηκε ότι ισχύουν οι αστικές συνθήκες με μεγάλη κάλυψη πρασίνου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 75% της διαπερατής περιοχής και άρα ο αριθμός καμπύλης θεωρήθηκε ίσος με 74. Αντίθετα, όσον αφορά στις περιαστικές λεκάνες, σύμφωνα με τις χρήσεις γης και αφού τα τμήματα αυτά αποτελούνται από καλλιεργημένες εκτάσεις χωρίς έργα συντήρησης, τότε η τιμή του αριθμού καμπύλης τέθηκε ίση με 88.

#### *Μοντέλο διόδευσης*

Προκειμένου να είναι ακριβής η μέθοδος διόδευσης, επιλέχθηκε η δυναμική μέθοδος, η οποία λαμβάνει υπόψη όλα τα πολύπλοκα φαινόμενα της μη μόνιμης και ανομοιομορφης ροής.

#### **4.2.6 Υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης**

Ο σχηματισμός του υδροκρίτη των αστικών λεκανών απορροής δημιουργήθηκε σύμφωνα με τον κανόνα της αστικής υδρολογίας, όπου χωρίστηκαν τα οικοδομικά τετράγωνα σε τρίγωνα και τραπέζια με χρήση του λογισμικού AutoCAD. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα σχέδια της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου και με επιτόπου παρατήρηση, εκτιμήθηκε το σημείο που εκβάλλει η κάθε λεκάνη. Προφανώς κάθε λεκάνη εκβάλλει σε περισσότερους από έναν αγωγούς, όμως το λογισμικό SWMM ορίζει ότι κάθε λεκάνη έχει μοναδικό σημείο εξόδου, για αυτό το λόγο οι λεκάνες χωρίστηκαν σε επιμέρους υπολεκάνες, προκειμένου να αναπαρασταθεί το σύστημα. Όσον αφορά στις περιαστικές λεκάνες, τότε αυτές σχηματίστηκαν με χρήση του λογισμικού ArcGIS όπου χαράχθηκε ο υδροκρίτης τους και επιλέχθηκε το σημείο εκβολής τους.

#### **4.2.7 Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης**

Προκειμένου να γίνει η προσομοίωση της λειτουργίας του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων, είναι απαραίτητος ο καθορισμός κάποιων παραμέτρων (simulation options). Το χρονικό βήμα για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε να είναι αυτό των 10 λεπτών. Ως τέλος της ανάλυσης για γεγονότα βροχόπτωσης 1 h και 3 h επιλέχθηκαν οι 6 h. Για τα υετογράμματα 6 h και 12 h, το τέλος της ανάλυσης συμπίπτει αντίστοιχα με τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Όσον αφορά στις παραμέτρους της δυναμικής διόδευσης, επιλέχθηκε να ορίζεται η υπερκρίσιμη ροή τόσο με βάση την κλίση όσο και με τον αριθμό Froude, ενώ οι απώλειες ενέργειας ορίζονται με βάση της εξίσωση Darcy-Weisbach.

#### **4.2.8 Αναπαράσταση του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου**

Προκειμένου να αναπαρασταθεί το αποχετευτικό δίκτυο, το πρόγραμμα SWMM το αναπαριστά με κόμβους και συνδέσμους. Η ροή από τον έναν κόμβο στον άλλον, ελέγχεται μέσω των συνδέσμων, οι οποίοι ουσιαστικά αναπαριστούν τους αγωγούς του δικτύου (ανοιχτούς ή κλειστούς). Οι κόμβοι αυτοί, ουσιαστικά ορίζουν το υψόμετρο του αποχετευτικού συστήματος και το μεταβλητό με το χρόνο υδραυλικό ύψος σε κάθε αγωγό που συνδέεται με τον αντίστοιχο κόμβο. Το νερό μεταφέρεται μέσω των αγωγών και των φρεατίων και εκρέει σε έναν τελικό κόμβο, τον κόμβο εκβολής (outfall node). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το σημείο εκβολής είναι το ρέμα της Ραφήνας, μόνο που σύμφωνα με τη μελέτη, το δίκτυο έχει πέντε διαφορετικές εξόδους, με τελικό αποδέκτη το ρέμα της Ραφήνας. Το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο, μοντελοποιήθηκε εφαρμόζοντας τα δεδομένα της μελέτης, όμως για τα ήδη κατασκευασμένα τμήματα του δικτύου, που έγιναν το 1999, δεν υπήρχαν δεδομένα και για αυτό έγιναν κάποιες παραδοχές. Στον ήδη κατασκευασμένο αγωγό διαμέτρου Φ800 της οδού Εθνικής Αντιστάσεως, παρατηρήθηκε ότι ανάντη του κατασκευασμένου αυτού αγωγού υπήρχε αγωγός τετραγωνικός, διαστάσεων 1x1 m, δηλαδή με χωρητικότητα μεγαλύτερη από τον κατάντη αγωγό, κάτι που θα δημιουργούσε πρόβλημα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό, έγινε η παραδοχή ότι αυτός ο αγωγός είναι κυκλικός, με διάμετρο Φ800 και με στοιχεία παρόμοια με τον κατάντη αγωγό, ενώ στην ένωση αυτών των αγωγών προστέθηκε και το φρεάτιο με στοιχεία υψομέτρου που προέκυψαν σύμφωνα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Τα στοιχεία που εισήχθησαν στο σύστημα, προέκυψαν από την οριζοντιογραφία του δικτύου κλίμακας 1:1000 και από τις μηκοτομές των αγωγών κλίμακας μηκών 1:1000 και υψών 1:100. Οι χάρτες αυτοί δεν απεικονίζουν με λεπτομέρεια τα στοιχεία των υφιστάμενων αγωγών, δηλαδή των ήδη κατασκευασμένων αγωγών, προ της μελέτης του 2006, παρά μόνον τη διάμετρο, την κλίση

και το μήκος τους. Για αυτό το λόγο, τα στοιχεία των φρεατίων προ της μελέτης του 2006, εκτιμήθηκαν μεν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, αλλά και από τα στοιχεία της μελέτης. Όλα τα φρεάτια εισήχθησαν με την ονομασία που έχουν στη μελέτη και οι αγωγοί με την ονομασία των δρόμων στον οποίο βρίσκονται, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.2: Αναλυτικά στοιχεία αγωγών ομβρίων

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_07	E10	47	45.9	153	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	E9	37	35.96			
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_06	E9	37	35.76	108	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	E8	31.6	30.36			
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_05	E8	31.6	30.26	108	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.9
	E7	28	26.69			
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_04	E7	28	26.59	73.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1
	E6	25.5	24.1			
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_03	E6	25.5	24.1	140.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1
	E5	21.08	19.74			
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_03(κατασκευασμένος)	E5	21.08	19.74	400	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.2
	E4	15.74	14.4			
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_01(κατασκευασμένος)	E4	15.74	14.4	20	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.2
	ΕΞΟΔΟΣ_Ε3	14.25	12.75			
ΕΙΡΗΝΗΣ_06	Δ10	42.64	41.64	92	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Δ9	31.18	30.14			
ΕΙΡΗΝΗΣ_05	Δ9	31.18	30.04	91.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Δ8	25.1	23.97			
ΕΙΡΗΝΗΣ_04	Δ8	25.1	23.87	81.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.7
	Δ7	20.82	19.61			
ΕΙΡΗΝΗΣ_03	Δ7	20.82	19.51	93.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Δ6	19	17.73			
ΕΙΡΗΝΗΣ_02	Δ6	19	17.73	36.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Δ5	15.6	14.34			
ΕΙΡΗΝΗΣ_01(κατασκευασμένος)	Δ5	15.6	14.34	93.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1
	Δ4_ΕΞΟΔΟΣ	11.88	9.92			
ΣΤΕΦ.ΠΕΡΡΗ_01	Γ3.9	34.59	33.69	54.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ3.8	31	30.29			
ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ_03	Γ3.8	31	29.89	29	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.7	32.19	29.8			
ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ_02	Γ3.7	32.19	29.8	33.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.6	27.18	25.86			
ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ_01	Γ3.6	27.18	25.86	38	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.5	25.1	23.77			
ΕΥΡΥΠΙΔΟΥ_01	Γ3.5	25.1	23.77	53.6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.4	22.2	20.88			
ΑΡΙΣΤΟΦΑΝΟΥΣ_02	Γ3.4	22.2	20.88	92.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.3	19.09	17.81			
ΑΡΙΣΤΟΦΑΝΟΥΣ_01	Γ3.3	19.09	17.81	88	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.2	11.4	10.15			
ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	Γ3.2	11.4	10.15	72.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3.1	10.6	9.35			
ΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	Γ3.1	10.6	9.15	84	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1
	Γ3	10.11	8.65			
ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	Γ3	10.11	8.36	84	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	Γ2	8.62	7.1			
ΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	Γ2	8.62	7.1	43	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	Γ1_ΕΞΟΔΟΣ	5.61	4.09			
ΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_05	B9	35.81	34.91	38.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	B8	33.69	32.81			
ΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_04	B8	33.69	32.71	61.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	B7	29.8	28.81			
ΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_03	B7	29.8	28.81	59.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	B6	24.84	23.84			
ΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_02	B6	24.84	23.84	61.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	B5	19.37	18.39			
ΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_01(κατασκευασμένος)	B5	19.37	18.39	190	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	B4	16.7	15.2			
ΝΗΡΕΩΣ_ΠΡΩΤΕΩΣ_01(κατασκευασμένος)	B4	16.7	15.2	303	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	B3_ΕΞΟΔΟΣ	6.05	4.55			



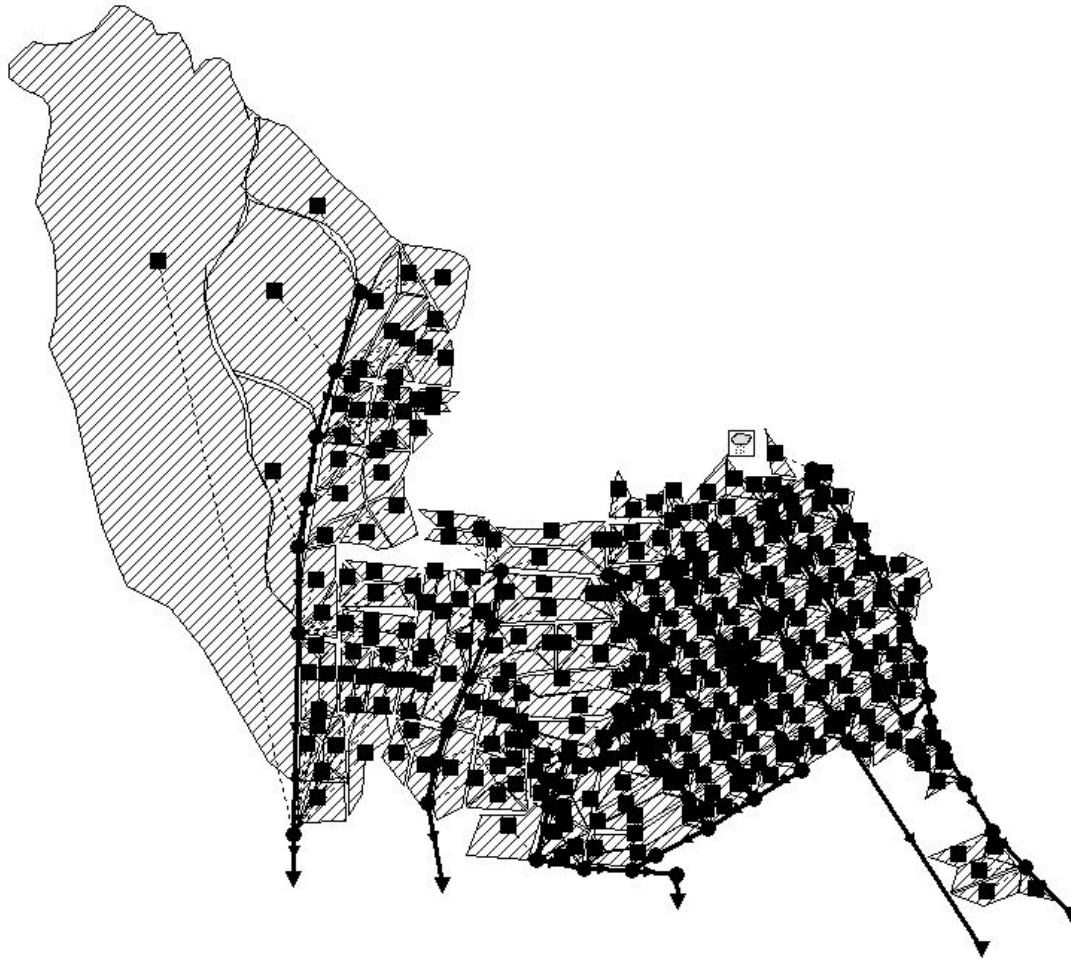
Πίνακας 4.2: Αναλυτικά στοιχεία αγωγών ομβρίων (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_07	Γ6.7	45.4	44.5	75.4	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ6.6	41.61	40.73			
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_06	Γ6.6	41.61	40.73	62.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ6.5	38.9	38.05			
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_05	Γ6.5	38.9	37.95	58.3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ6.4	37.2	36.26			
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_04	Γ6.4	37.2	36.26	62.3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ6.3	35	34.08			
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_03	Γ6.3	35	34.08	59.6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ6.2	31.8	30.86			
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_02	Γ6.2	31.8	30.86	59.4	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ6.1	24.2	23.25			
ΠΡΟΥΣΣΗΣ_01	Γ6.1	24.2	23.25	60.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ6	15.15	14.18			
ΑΤΤΙΚΗΣ_03	Γ5.3	36.76	35.86	61.4	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ5.2	33.25	32.36			
ΑΤΤΙΚΗΣ_02	Γ5.2	33.25	32.36	59.6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ5.1	24.11	23.24			
ΑΤΤΙΚΗΣ_01	Γ5.1	24.11	23.24	55.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ5	13.85	12.99			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_11	Γ18	40.67	39.77	40.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	Γ17	38.9	38			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_10	Γ17	38.9	37.9	61.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ16	37.17	36.19			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_09	Γ16	37.17	36.19	59	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ15	34.98	34			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_08	Γ15	34.98	34	31.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	Γ14	33.24	32.26			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_07	Γ14	33.24	32.16	18.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ13	33	31.92			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_06	Γ13	33	31.92	27.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ12	32	30.91			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_05	Γ12	32	30.91	22.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ11	28	26.92			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_04	Γ11	28	26.92	18.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ10	27	25.92			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_03	Γ10	27	25.92	35.1	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ9	26.12	25.04			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_02	Γ9	26.12	25.04	61.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ8	23.4	22.33			
ΤΡΙΓΛΙΑΣ_01	Γ8	23.4	22.33	56.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	Γ7	16	14.93			
ΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_04	Γ7	16	14.73	96.6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ6	15.15	13.67			
ΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_03	Γ6	15.15	13.67	90.3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ5	13.85	12.4			
ΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_02	Γ5	13.85	12.4	118.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ4	10.8	9.56			
ΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_01	Γ4	10.8	9.56	23.1	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	Γ3	10.11	8.66			

Πίνακας 4.2: Αναλυτικά στοιχεία αγωγών ομβρίων (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_07	A14	37.9	37	31.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	A13	37.33	36.43			
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_06	A13	37.33	36.43	61.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	A12	33.79	32.86			
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_05	A12	33.79	32.86	61.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	A11	28.5	27.6			
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_04	A11	28.5	27.5	62.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	A10	24.8	23.81			
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_03	A10	24.8	23.81	61.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	A9	19.3	18.3			
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_02	A9	19.3	18.3	64.6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	A8	15	13.97			
ΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_01	A8	15	13.97	72.8	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	A7	10.33	9.1			
ΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_06	A7	10.33	8.8	66.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	A6	9	7.67			
ΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_05	A6	9	7.67	79.3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	A5	5	3.7			
ΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_04	A5	5	3.6	94.8	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.9
	A4	4.2	2.84			
ΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_03	A4	4.2	2.84	77.8	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.9
	A3	3.4	2.06			
ΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_02	A3	3.4	1.95	93.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1
	A2	2.78	1.21			
ΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_01	A2	2.78	1.21	30.6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1
	A1-ΕΞΟΔΟΣ	2	0.57			
ΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_06	A7.7	34.83	33.93	62.5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	A7.6	29.41	28.49			
ΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_05	A7.6	29.41	28.49	60.9	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.4
	A7.5	23.81	22.89			
ΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_04	A7.5	23.81	22.79	61.4	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	A7.4	20.41	19.41			
ΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_03	A7.4	20.41	19.31	61	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	A7.3	17.8	16.69			
ΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_02	A7.3	17.8	16.69	60.2	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	A7.2	15.3	14.16			
ΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_01	A7.2	15.3	14.16	68.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	A7.1	13.1	11.96			
ΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_05	A7.1	13.1	11.96	52.7	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	A7	10.33	9.17			

Παρακάτω, παρουσιάζεται μοντελοποιημένη η περιοχή μελέτης, όπου με διαφορετικά χρώματα απεικονίζονται οι λεκάνες, ανάλογα με την έκτασή τους, τα φρεάτια ανάλογα με το υψόμετρο πυθμένα και όλοι οι αγωγοί ανάλογα με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής τους.



Σχήμα 4.12: Συνολική αναπαράσταση του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων στο λογισμικό SWMM.

Πριν εφαρμοστεί η προσομοίωση, κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός του σημείου αποχέτευσης της κάθε λεκάνης του συστήματος. Το πρόγραμμα SWMM ορίζει ότι κάθε λεκάνη, έχει ένα και μοναδικό σημείο εκβολής. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, οι λεκάνες χωρίστηκαν σύμφωνα με τον κανόνα της αστικής υδρολογίας, έτσι ώστε κάθε υπολεκάνη να έχει μοναδικό σημείο εκβολής, ενώ οι περιιαστικές λεκάνες ορίστηκαν σύμφωνα με την υδρολογία, με τον σχηματισμό του υδροκρίτη και αντίστοιχα και αυτές χωρίστηκαν σε υπολεκάνες με μοναδικό σημείο εκβολής. Επειδή, σύμφωνα με τη μελέτη, δεν υπήρξε σαφής περιγραφή του τρόπου που σχηματίστηκαν οι λεκάνες, αλλά ούτε και του σημείου που αυτές εκβάλλουν, εκτιμήθηκε ανά περίπτωση και σε συνδυασμό με τα στοιχεία που υπήρχαν διαθέσιμα, το σημείο που εκβάλλει η κάθε λεκάνη σε συνδυασμό με τους εξαγόμενους χάρτες που απεικονίζουν τη διεύθυνση της ροής σύμφωνα με το λογισμικό ArcGIS. Παρόλα αυτά, προκειμένου να υπάρξει και μία σχετική ομοιομορφία στα ποσοστά πλήρωσης, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικά τρεξίματα του προγράμματος.

## **4.3 Προσομοίωση του δυαδικού δικτύου αποχέτευσης**

### **4.3.1 Γενικά**

Το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο, σχεδιάζεται ώστε να είναι ικανό να πραγματοποιεί υδραυλική διόδευση για πλημμυρικά φαινόμενα με περίοδο επαναφοράς 25 ετών. Είναι λογικό λοιπόν, ότι όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς, να αυξάνεται και η αιχμή και η ένταση και ο όγκος της πλημμύρας. Συνεπώς, σε ένα γεγονός βροχόπτωσης 25 ετών και άνω, πολλοί αγωγοί του συστήματος προβλέπεται να υπερφορτιστούν και πολλά φρεάτια να πλημμυρίζουν. Όταν εφαρμόζονται πλημμύρες σχεδιασμού μεγάλης περιόδου επαναφοράς στο απλό αποχετευτικό δίκτυο, τότε είναι δυνατός ο υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών, όπως η παροχή και η ταχύτητα, αλλά δεν είναι δυνατή η διόδευση της πλημμύρας, αφού ορισμένοι αγωγοί λειτουργούν υπό πίεση και ορισμένα φρεάτια πλημμυρίζουν. Προκειμένου να μελετηθεί η πραγματική συμπεριφορά του συστήματος σε μεγάλα γεγονότα βροχόπτωσης, συντέθηκε ένα πολυπλοκότερο σύστημα αποχέτευσης, το δυαδικό σύστημα. Ουσιαστικά το σύστημα αυτό αποτελείται από το υπόγειο δίκτυο των αγωγών αποχέτευσης και από το σύστημα επιφανειακών αγωγών, δηλαδή των δρόμων. Το δυαδικό σύστημα αναπαριστά τα επιφανειακά κανάλια μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί η ροή στην περίπτωση που πλημμυρίσει το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η υδραυλική διόδευση ακόμη και για πολύ μεγάλα γεγονότα. Η διαφοροποίηση του δυαδικού συστήματος έγκειται στην υψομετρική θέση και τη διατομή των αγωγών. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί και σε αυτήν την περίπτωση είναι αυτή του δυναμικού κύματος προκειμένου να αναλυθεί η υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος.

### **4.3.2 Υψομετρική θέση των επιφανειακών αγωγών**

Οι επιφανειακοί αγωγοί που θα εισαχθούν στο μοντέλο θα είναι μετατοπισμένοι παράλληλα προς το έδαφος σε απόσταση ίση με τη διαφορά του υψόμετρου του πυθμένα των υπόγειων αγωγών από το υψόμετρο ερυθράς. Το πρόγραμμα SWMM για κάθε αγωγό διαθέτει τις επιλογές Inlet Offset και Outlet Offset σαν επιλογές μετατοπίσεων εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Η μετατόπιση εισόδου αναφέρεται στην απόσταση από το υψόμετρο ερυθράς μέχρι το υψόμετρο πυθμένα του υπόγειου αγωγού. Για την υψομετρική τοποθέτηση των επιφανειακών αγωγών, παρατίθεται στη συνέχεια ο Πίνακας 4.3 όπου φαίνονται οι μετατοπίσεις και οι επιφανειακοί αγωγοί απεικονίζονται με ένα αρχικό γράμμα «S», ώστε να ξεχωρίζονται από τους υπόγειους.

Πίνακας 4.3: Υψομετρική τοποθέτηση επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	ΕΙΔΟΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_07	E10	47	45.9	1.1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	E9	37	35.76	1.24	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_06	E9	37	35.76	1.24	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	E8	31.6	30.26	1.34	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_05	E8	31.6	30.26	1.34	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	E7	28	26.59	1.41	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_04	E7	28	26.59	1.41	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	E6	25.5	24.1	1.4	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_03	E6	25.5	24.1	1.4	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	E5	21.08	19.74	1.34	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_03(κατασκευασμένος)	E5	21.08	19.74	1.34	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	E4	15.74	14.4	1.34	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_01(κατασκευασμένος)	E4	15.74	14.4	1.34	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	ΕΞΟΔΟΣ_Ε3	14.25	12.75	1.5	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΙΡΗΝΗΣ_06	Δ10	42.64	41.64	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Δ9	31.18	30.04	1.14	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΙΡΗΝΗΣ_05	Δ9	31.18	30.04	1.14	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Δ8	25.1	23.87	1.23	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΙΡΗΝΗΣ_04	Δ8	25.1	23.87	1.23	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Δ7	20.82	19.51	1.31	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΙΡΗΝΗΣ_03	Δ7	20.82	19.51	1.31	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Δ6	19	17.73	1.27	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΙΡΗΝΗΣ_02	Δ6	19	17.73	1.27	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Δ5	15.6	14.34	1.26	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΙΡΗΝΗΣ_01(κατασκευασμένος)	Δ5	15.6	14.34	1.26	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Δ4_ΕΞΟΔΟΣ	11.88	9.92	1.96	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΕΦ.ΠΕΡΡΗ_01	Γ3.9	34.59	33.69	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.8	31	29.89	1.11	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΦΡΟΔΙΤΗΣ_03	Γ3.8	31	29.89	1.11	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.7	32.19	29.8	2.39	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΦΡΟΔΙΤΗΣ_02	Γ3.7	32.19	29.8	2.39	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.6	27.18	25.86	1.32	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΦΡΟΔΙΤΗΣ_01	Γ3.6	27.18	25.86	1.32	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.5	25.1	23.77	1.33	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΥΡΗΠΙΔΟΥ_01	Γ3.5	25.1	23.77	1.33	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.4	22.2	20.88	1.32	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΙΣΤΟΦΑΝΟΥΣ_02	Γ3.4	22.2	20.88	1.32	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.3	19.09	17.81	1.28	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΙΣΤΟΦΑΝΟΥΣ_01	Γ3.3	19.09	17.81	1.28	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.2	11.4	10.15	1.25	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	Γ3.2	11.4	10.15	1.25	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3.1	10.6	9.15	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	Γ3.1	10.6	9.15	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3	10.11	8.36	1.75	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	Γ3	10.11	8.36	1.75	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ2	8.62	7.1	1.52	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	Γ2	8.62	7.1	1.52	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ1_ΕΞΟΔΟΣ	5.61	4.09	1.52	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ

Πίνακας 4.3: Υψομετρική τοποθέτηση επιφανειακών αγωγών (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	ΕΙΔΟΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ
ΣΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_05	B9	35.81	34.91	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	B8	33.69	32.71	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_04	B8	33.69	32.71	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	B7	29.8	28.81	0.99	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_03	B7	29.8	28.81	0.99	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	B6	24.84	23.84	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_02	B6	24.84	23.84	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	B5	19.37	18.39	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΕΘΝΙΚΗΣ_ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ_01(κατασκευασμένος)	B5	19.37	18.39	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	B4	16.7	15.2	1.5	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΝΗΡΕΩΣ_ΠΡΩΤΕΩΣ_01(κατασκευασμένος)	B4	16.7	15.2	1.5	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	B3_ΕΞΟΔΟΣ	6.05	4.55	1.5	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_07	Γ6.7	45.4	44.5	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6.6	41.61	40.73	0.88	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_06	Γ6.6	41.61	40.73	0.88	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6.5	38.9	37.95	0.95	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_05	Γ6.5	38.9	37.95	0.95	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6.4	37.2	36.26	0.94	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_04	Γ6.4	37.2	36.26	0.94	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6.3	35	34.08	0.92	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_03	Γ6.3	35	34.08	0.92	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6.2	31.8	30.86	0.94	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_02	Γ6.2	31.8	30.86	0.94	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6.1	24.2	23.25	0.95	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΠΡΟΥΣΣΗΣ_01	Γ6.1	24.2	23.25	0.95	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6	15.15	14.18	0.97	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΤΤΙΚΗΣ_03	Γ5.3	36.76	35.86	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ5.2	33.25	32.36	0.89	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΤΤΙΚΗΣ_02	Γ5.2	33.25	32.36	0.89	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ5.1	24.11	23.24	0.87	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΤΤΙΚΗΣ_01	Γ5.1	24.11	23.24	0.87	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ5	13.85	12.99	0.86	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_11	Γ18	40.67	39.77	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ17	38.9	37.9	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_10	Γ17	38.9	37.9	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ16	37.17	36.19	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_09	Γ16	37.17	36.19	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ15	34.98	34	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_08	Γ15	34.98	34	0.98	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ14	33.24	32.16	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_07	Γ14	33.24	32.16	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ13	33	31.92	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_06	Γ13	33	31.92	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ12	32	30.91	1.09	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_05	Γ12	32	30.91	1.09	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ11	28	26.92	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_04	Γ11	28	26.92	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ10	27	25.92	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_03	Γ10	27	25.92	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ9	26.12	25.04	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_02	Γ9	26.12	25.04	1.08	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ8	23.4	22.33	1.07	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΤΡΙΓΓΛΙΑΣ_01	Γ8	23.4	22.33	1.07	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ7	16	14.73	1.27	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ

Πίνακας 4.3: Υψομετρική τοποθέτηση επιφανειακών αγωγών (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	ΕΙΔΟΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ
ΣΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_04	Γ7	16	14.73	1.27	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ6	15.15	13.67	1.48	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_03	Γ6	15.15	13.67	1.48	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ5	13.85	12.4	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_02	Γ5	13.85	12.4	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ4	10.8	9.56	1.24	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_01	Γ4	10.8	9.56	1.24	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Γ3	10.11	8.66	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_07	Α14	37.9	37	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α13	37.33	36.43	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_06	Α13	37.33	36.43	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α12	33.79	32.86	0.93	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_05	Α12	33.79	32.86	0.93	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α11	28.5	27.5	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_04	Α11	28.5	27.5	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α10	24.8	23.81	0.99	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_03	Α10	24.8	23.81	0.99	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α9	19.3	18.3	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_02	Α9	19.3	18.3	1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α8	15	13.97	1.03	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣΙΛΕΩΣ_ΠΑΥΛΟΥ_01	Α8	15	13.97	1.03	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7	10.33	8.8	1.53	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_06	Α7	10.33	8.8	1.53	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α6	9	7.67	1.33	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_05	Α6	9	7.67	1.33	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α5	5	3.6	1.4	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_04	Α5	5	3.6	1.4	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α4	4.2	2.84	1.36	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_03	Α4	4.2	2.84	1.36	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α3	3.4	1.95	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_02	Α3	3.4	1.95	1.45	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α2	2.78	1.21	1.57	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΑΡΑΦ_ΑΛΩΝ_01	Α2	2.78	1.21	1.57	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α1-ΕΞΟΔΟΣ	2	0.57	1.43	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_06	Α7.7	34.83	33.93	0.9	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7.6	29.41	28.49	0.92	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_05	Α7.6	29.41	28.49	0.92	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7.5	23.81	22.79	1.02	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_04	Α7.5	23.81	22.79	1.02	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7.4	20.41	19.31	1.1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_03	Α7.4	20.41	19.31	1.1	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7.3	17.8	16.69	1.11	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_02	Α7.3	17.8	16.69	1.11	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7.2	15.3	14.16	1.14	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΚΥΠΡΙΩΝ_ΑΓΩΝΙΣΤΩΝ_01	Α7.2	15.3	14.16	1.14	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7.1	13.1	11.96	1.14	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΒΑΣ_ΓΕΩΡΓΙΟΥ_05	Α7.1	13.1	11.96	1.14	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	Α7	10.33	9.17	1.16	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ

### 4.3.3 Διατομή επιφανειακών αγωγών

Προκειμένου να προσομοιωθούν με ακρίβεια οι διατομές του επιφανειακού δικτύου των αγωγών, χρησιμοποιήθηκαν οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες της Κτηματολόγιο ΑΕ. Με τη χρήση της πιλοτικής λειτουργίας της Κτηματολόγιο ΑΕ επιτυγχάνεται η εστίαση σε επίπεδο πεζοδρομίου και έτσι καθίσταται δυνατή η μέτρηση των διαστάσεων των δρόμων και των πεζοδρομίων.

Τελικά, για οικονομία χρόνου, συντέθηκαν κάποιες κατηγορίες διατομών οδών. Δημιουργήθηκαν διατομές οδών πλάτους και εφαρμόστηκαν πλάτη πεζοδρομίων ίσα με 2.20 m και 3.5 m. Οι επικλίσεις ελήφθησαν από 2% για δρόμους μικρότερους των 7.50 m και 2.5% για μεγαλύτερους. Η εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων ελήφθη 1.5%, αφού σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ, η επιθυμητή εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων κυμαίνεται μεταξύ 1-1.5% και δεν ξεπερνάει το 4%. Τέλος, κατά το σχεδιασμό των διατομών, ελήφθη από την οικοδομική γραμμή και άνω, τοίχος 2 m προκειμένου να πραγματοποιηθεί διόδευση και υπό συνθήκες πολύ μεγάλων περιόδων επαναφοράς.

Οι διατομές των δρόμων με βάση τα παραπάνω στοιχεία σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας το εργαλείο cross section editor του λογισμικού SWMM το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή οριζοντιογραφικών και υψομετρικών θέσεων κατά πλάτος μίας οδού. Με αυτόν τον τρόπο, συντέθηκαν οι παρακάτω διατομές δρόμων που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.4, ενώ οι διατομές σχηματικά φαίνονται στο Παράρτημα 4.

Πίνακας 4.4: Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ 2.20μ		ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ 2.20μ	
ΠΛΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ 7.50 μέτρα		ΠΛΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ 5.50 μέτρα	
Οριζοντιογραφική θέση	Υψομετρική θέση	Οριζοντιογραφική θέση	Υψομετρική θέση
-5.950	2.183	-4.950	2.183
-5.950	0.183	-4.950	0.183
-3.750	0.150	-2.750	0.150
-3.750	0.000	-2.750	0.000
0.000	0.075	0.000	0.055
3.750	0.000	2.750	0.000
3.750	0.150	2.750	0.150
5.950	0.183	4.950	0.183
5.950	2.183	4.950	2.183



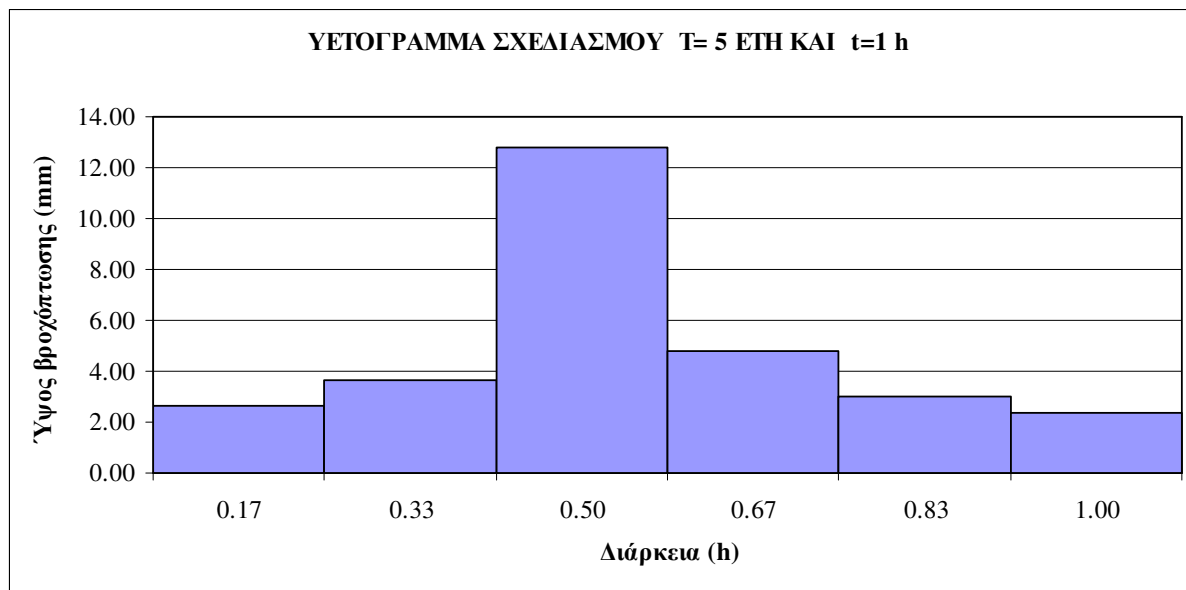
Πίνακας 4.4: Διατομές επιφανειακών αγωγών (συνέχεια)

ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ 2.20μ		ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ 3.50μ	
ΠΛΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ 11.00 μέτρα		ΠΛΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ 13.00 μέτρα	
Οριζοντιογραφική θέση	Υψομετρική θέση	Οριζοντιογραφική θέση	Υψομετρική θέση
-7.700	2.1830	-10.000	2.203
-7.700	0.1830	-10.000	0.203
-5.500	0.1500	-6.500	0.150
-5.500	0.0000	-6.500	0.000
0.000	0.1375	0.000	0.163
5.500	0.0000	6.500	0.000
5.500	0.1500	6.500	0.150
7.700	0.1830	10.000	0.203
7.700	2.1830	10.000	2.203

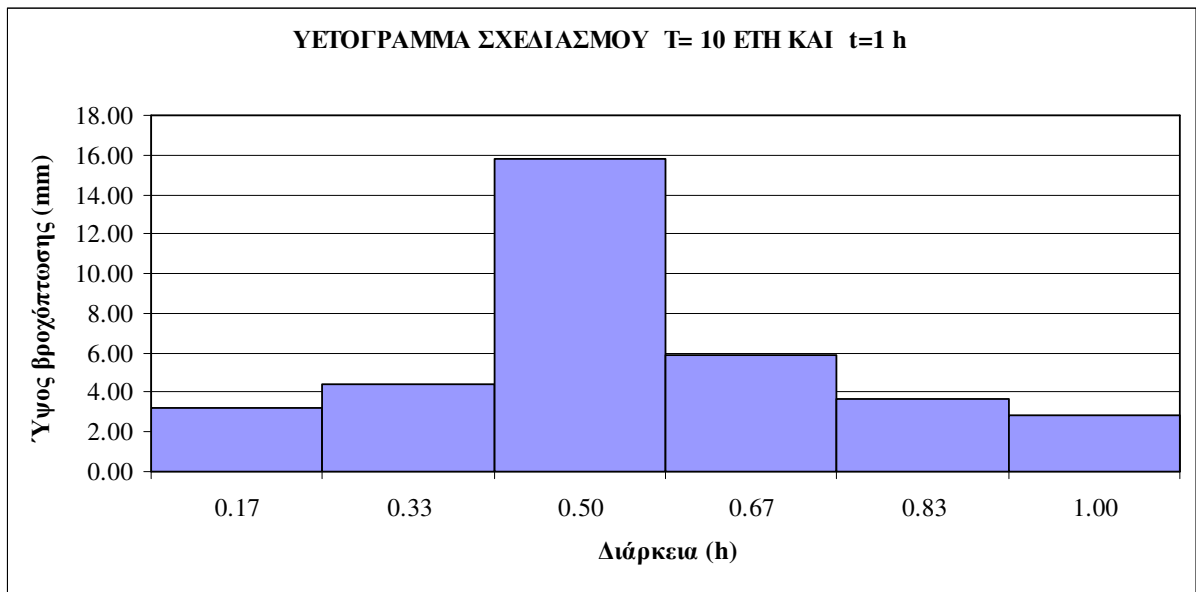
## 5 Αποτελέσματα

### 5.1 Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού

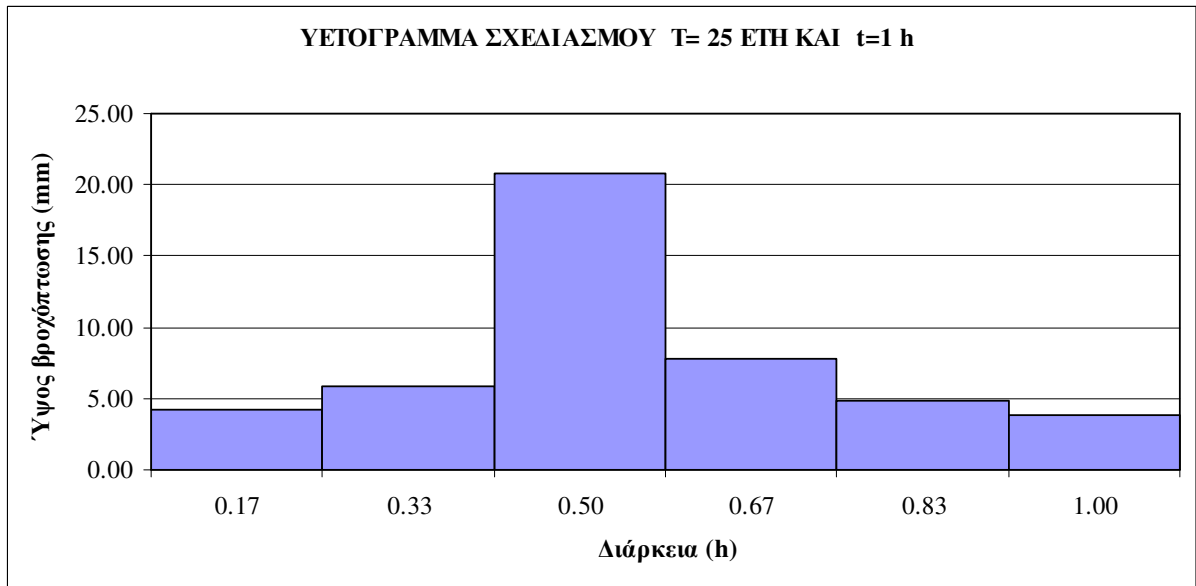
Σύμφωνα με τη σχέση 2.10 για τις όμβριες καμπύλες που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2 για διάφορα  $T$  και  $t$  σχηματίστηκαν τα υετογράμματα σχεδιασμού. Προκειμένου να σχηματιστούν τα υετογράμματα σχεδιασμού, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ, η οποία εφαρμόζεται στον Ελλαδικό χώρο, όπως αυτή περιγράφηκε στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης που εξετάζεται είναι τα 10min που θεωρείται το πλέον κατάλληλο για τη λεκάνη αυτή. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, δημιουργήθηκαν τα υετογράμματα σχεδιασμού για 7 διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 έτη) και για 4 διαφορετικές διάρκειες. Συνολικά δηλαδή συντέθηκαν 28 διαφορετικά υετογράμματα σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο, καλύφθηκε ένα μεγάλο εύρος πλημμυρικών γεγονότων και έτσι μελετήθηκε με μεγάλη λεπτομέρεια τόσο η υδραυλική όσο και η υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, αναπαρίστανται σχηματικά όλα τα υετογράμματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου, ενώ στο Παράρτημα 1 επισυνάπτονται οι πίνακες υπολογισμών.



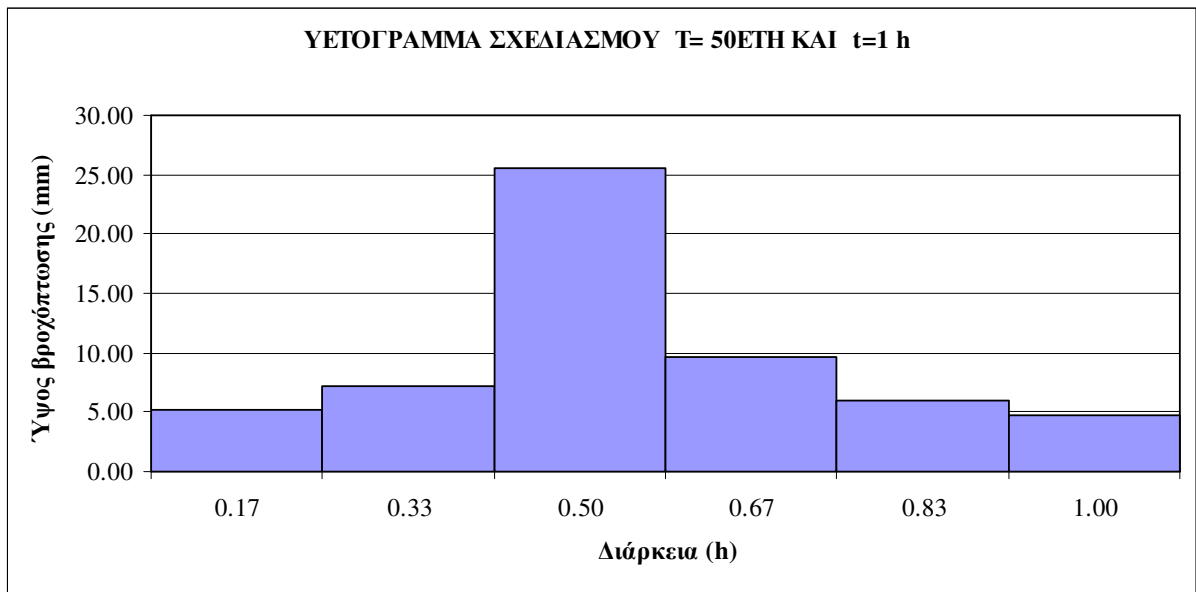
Σχήμα 5.1:Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  έτη και  $t= 1$  h



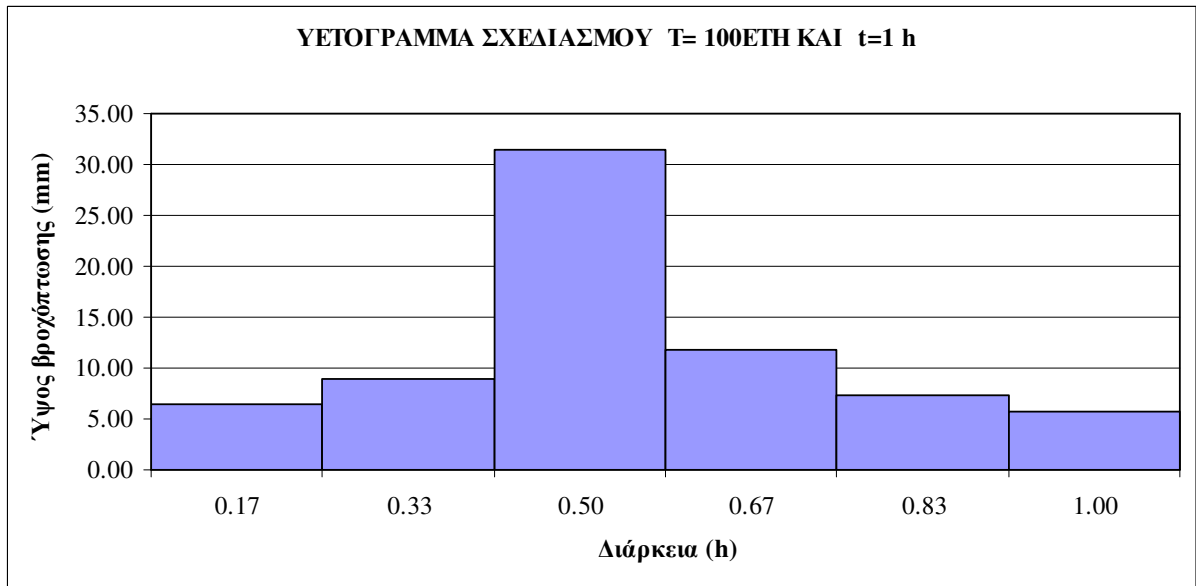
Σχήμα 5.2:Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  και  $t = 1$  h



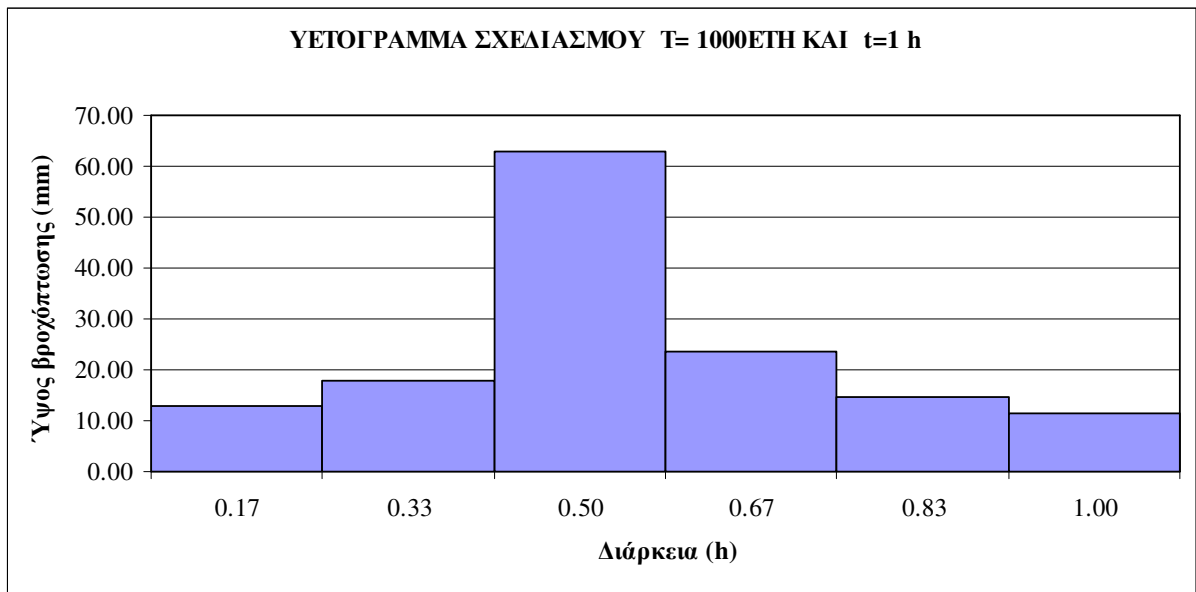
Σχήμα 5.3 Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  και  $t = 1$  h



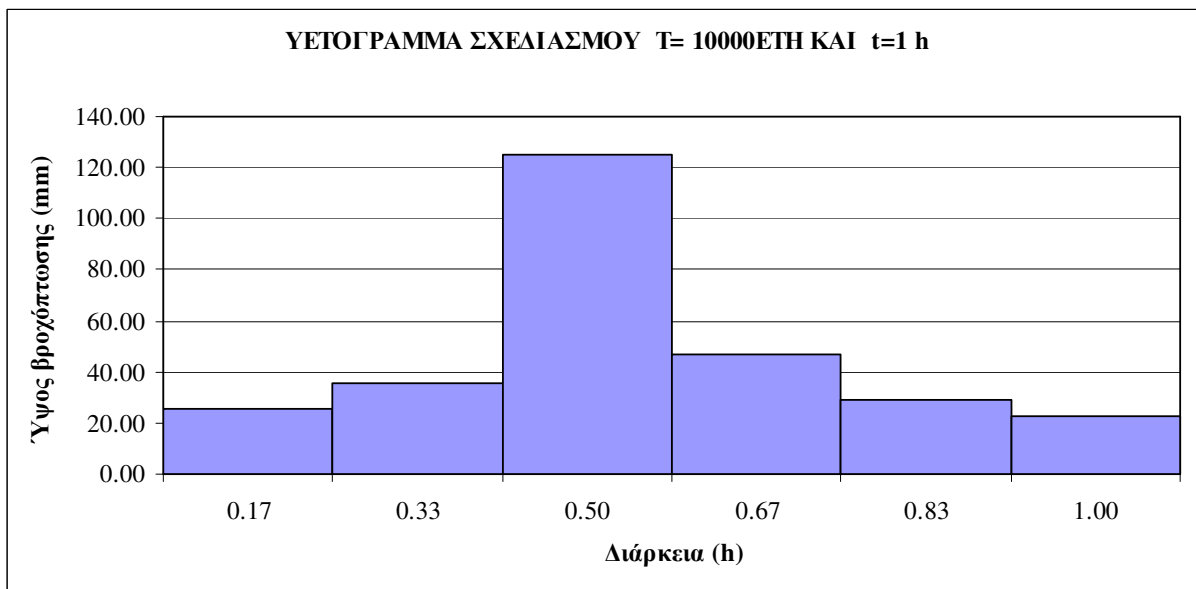
Σχήμα 5.4: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  και  $t = 1$  h



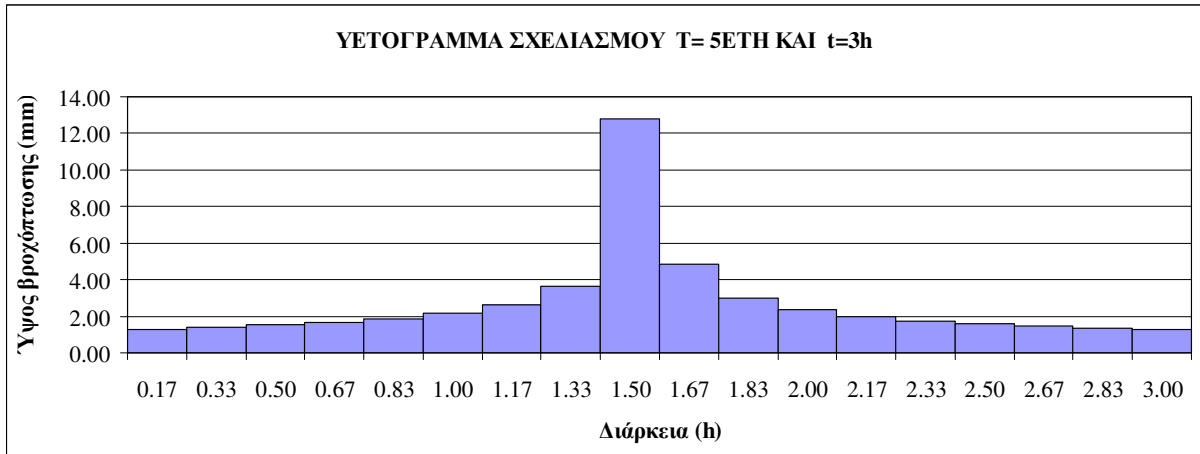
Σχήμα 5.5: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  και  $t = 1$  h



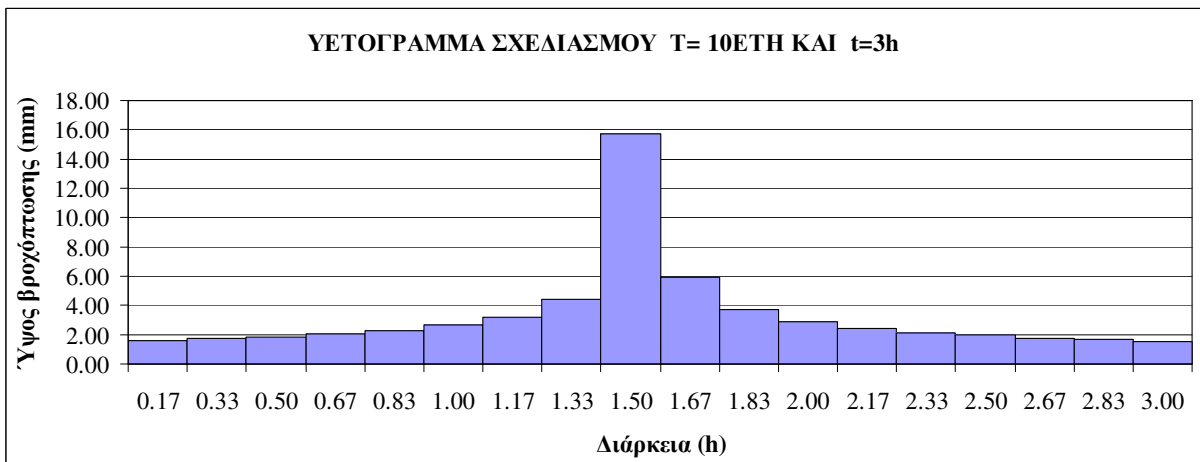
Σχήμα 5.6: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  και  $t = 1$  h



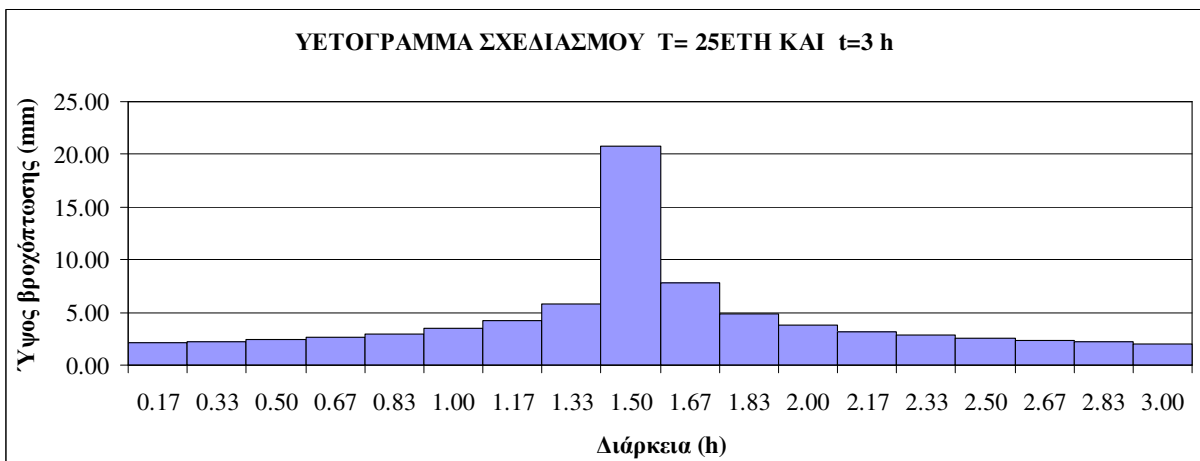
Σχήμα 5.7: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  και  $t = 1$  h



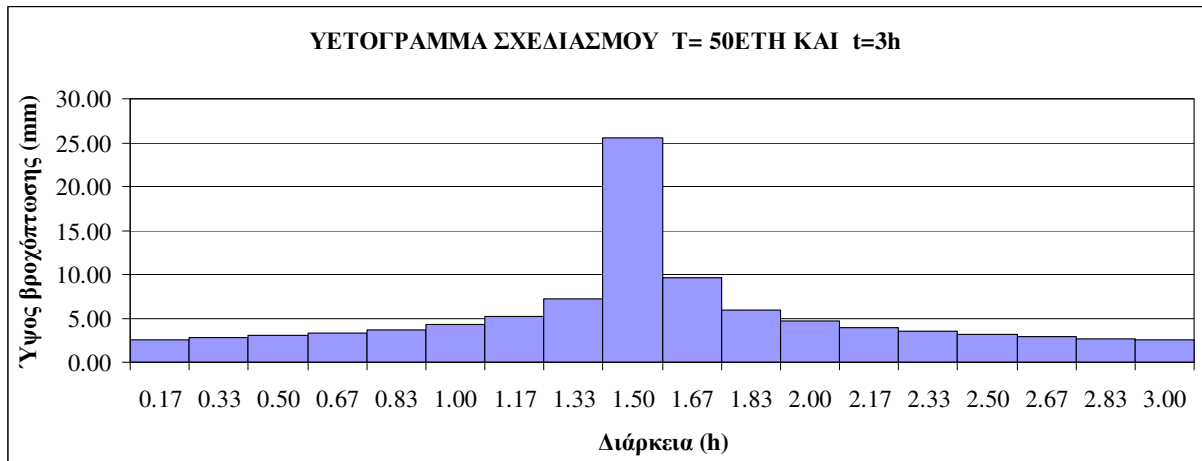
Σχήμα 5.8: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  και  $t = 3$  h



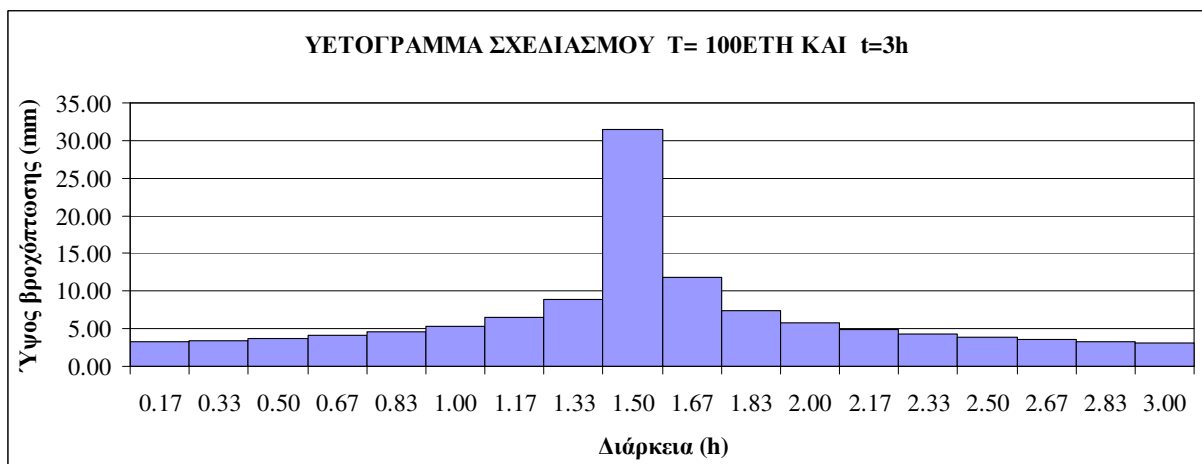
Σχήμα 5.9: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  και  $t = 3$  h



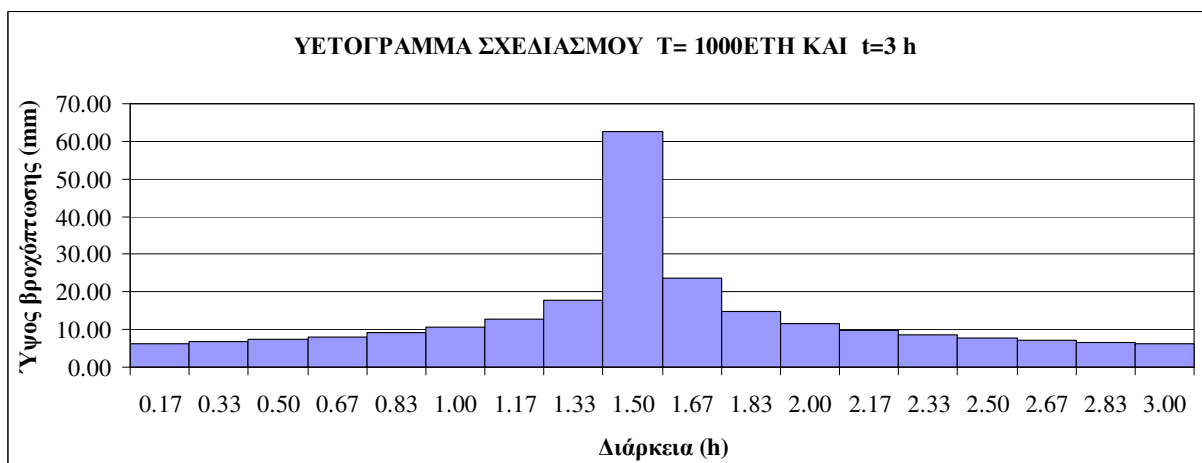
Σχήμα 5.10: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  και  $t = 3$  h



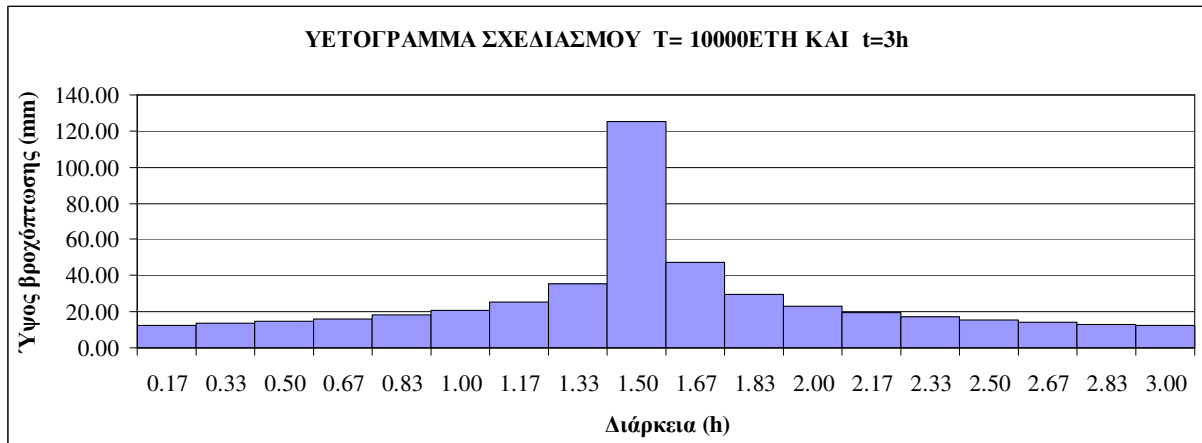
Σχήμα 5.11: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  και  $t = 3$  h



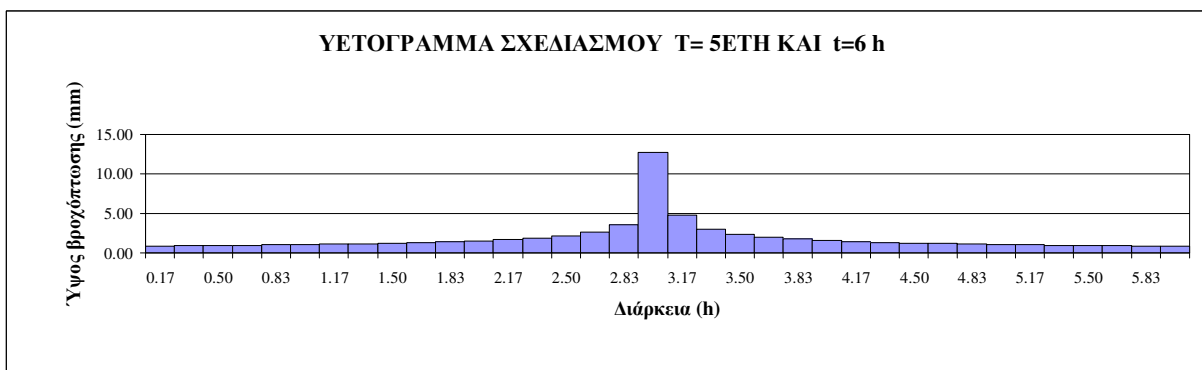
Σχήμα 5.12: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  και  $t = 3$  h



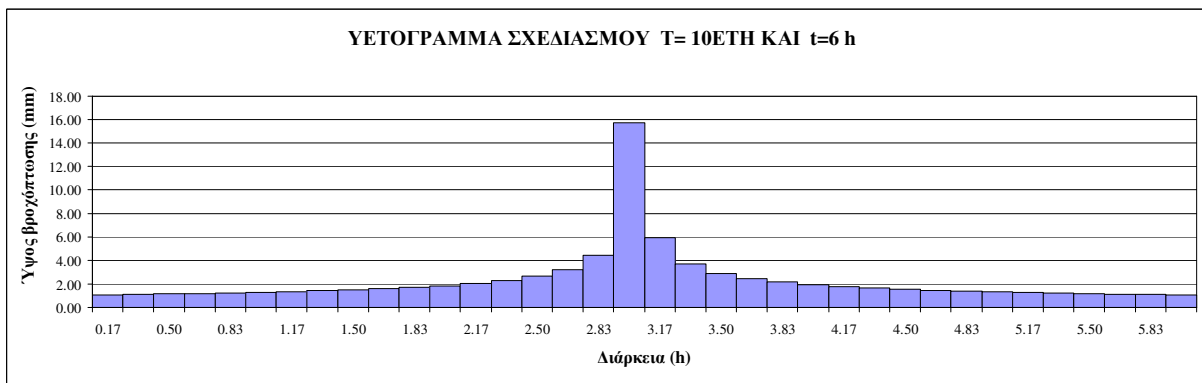
Σχήμα 5.13: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  και  $t = 3$  h



Σχήμα 5.14: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  και  $t = 3$  h

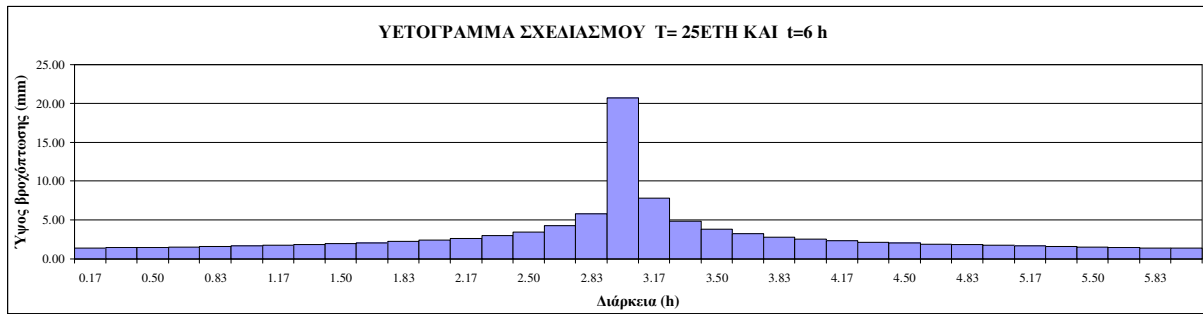


Σχήμα 5.15: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  και  $t = 6$  h

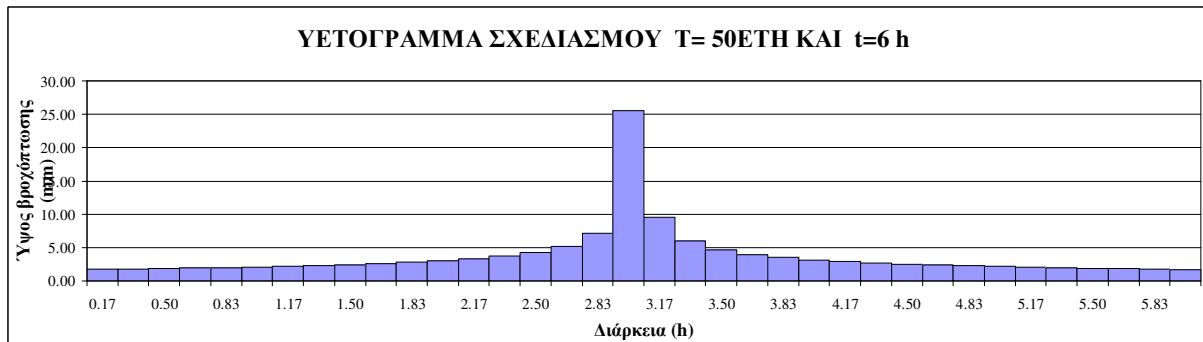


Σχήμα 5.16: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  και  $t = 6$  h

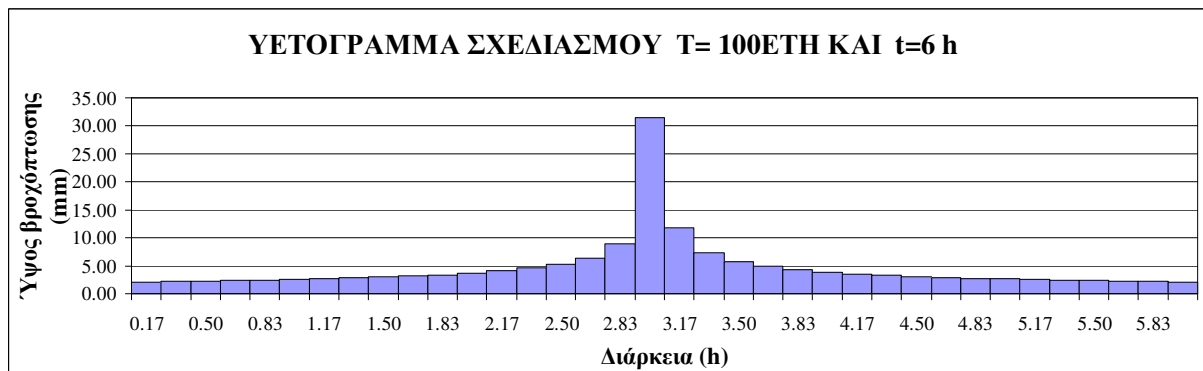




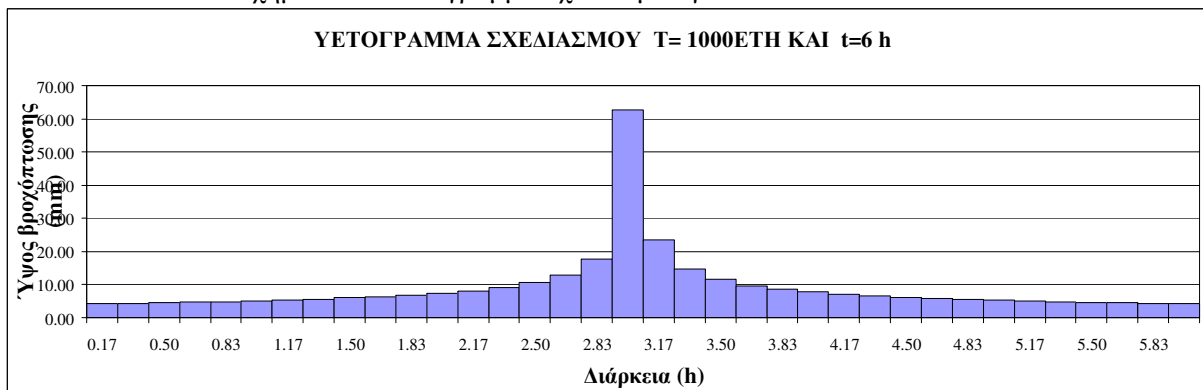
Σχήμα 5.17: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  και  $t = 6$  h



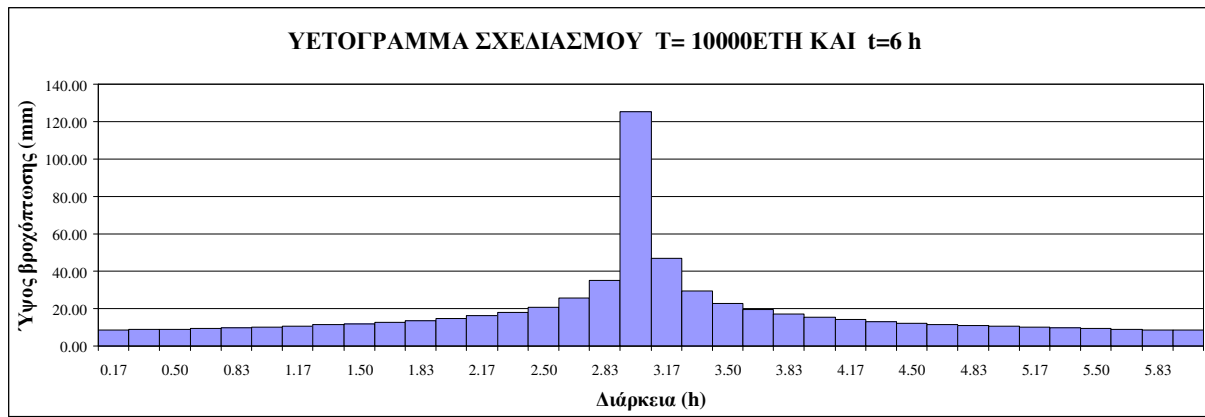
Σχήμα 5.18: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  και  $t = 6$  h



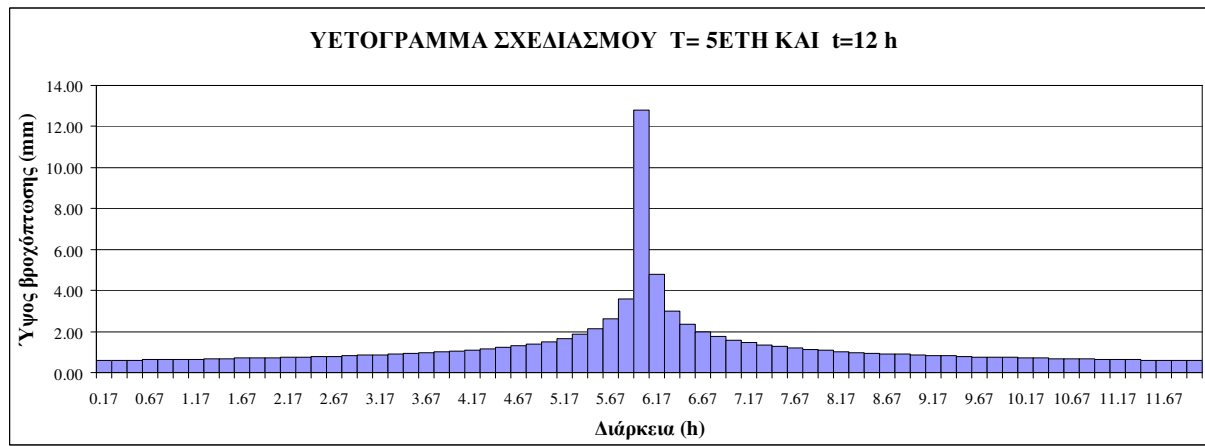
Σχήμα 5.19: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  και  $t = 6$  h



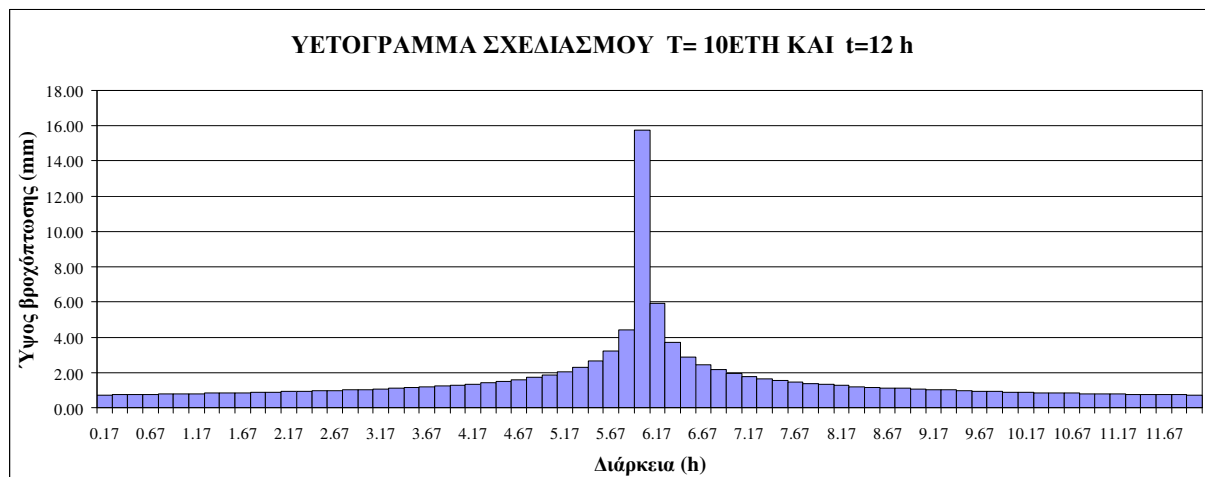
Σχήμα 5.20: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  και  $t = 6$  h



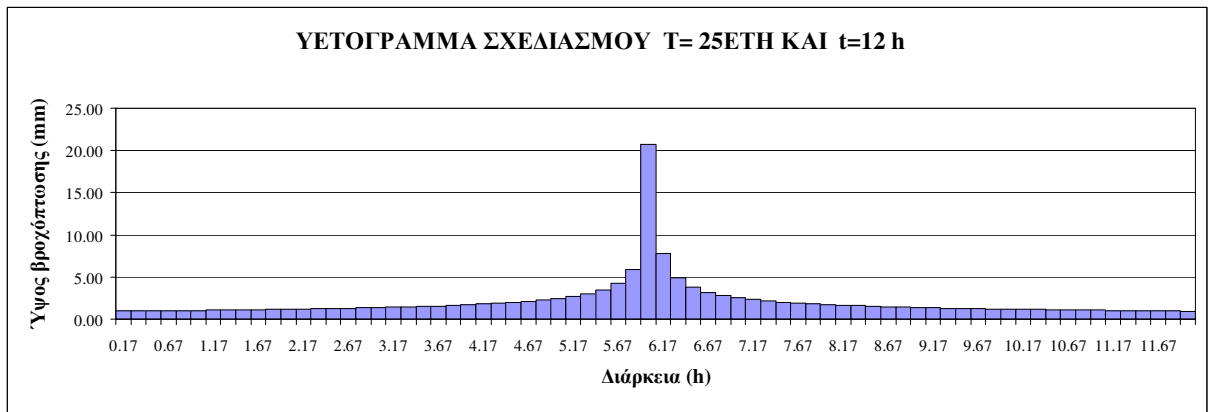
Σχήμα 5.21: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  και  $t = 6$  h



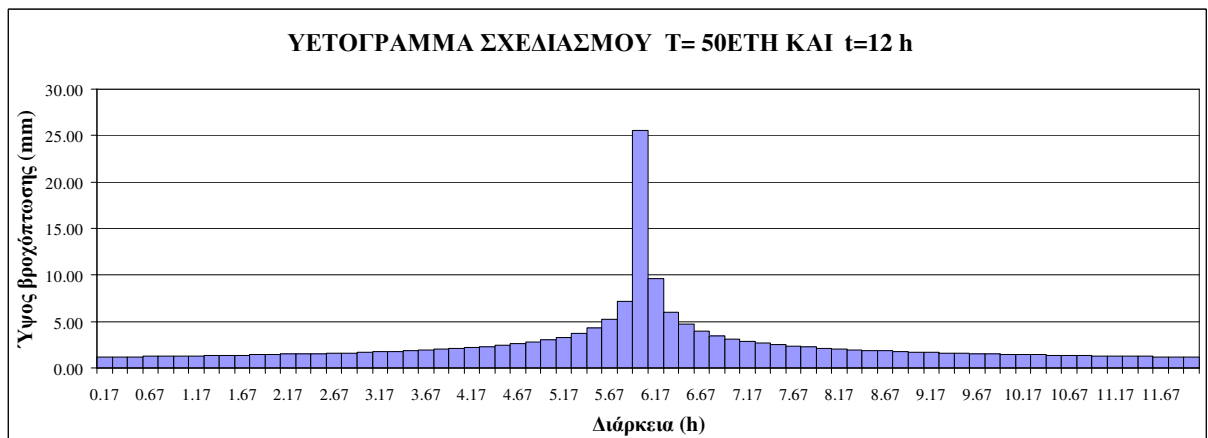
Σχήμα 5.22: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  και  $t = 12$  h



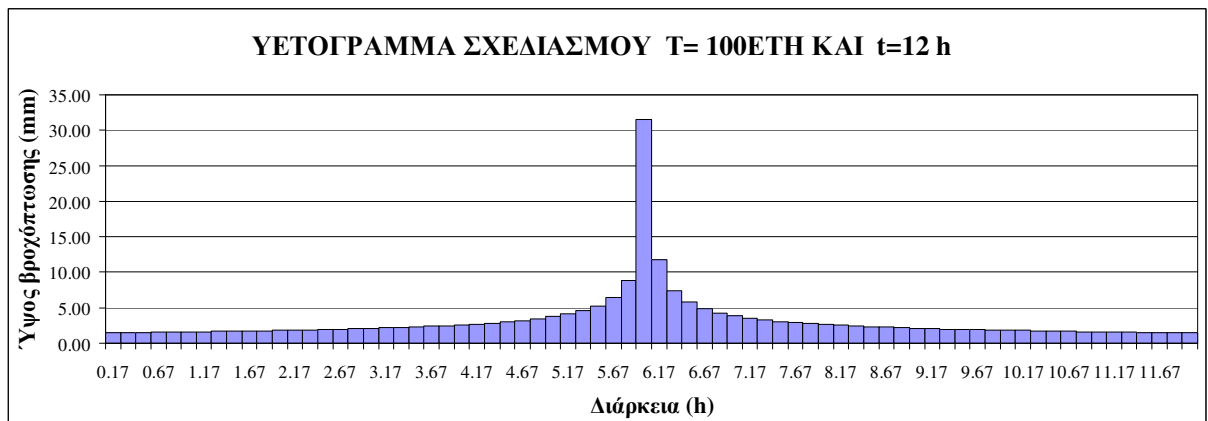
Σχήμα 5.23: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  και  $t = 12$  h



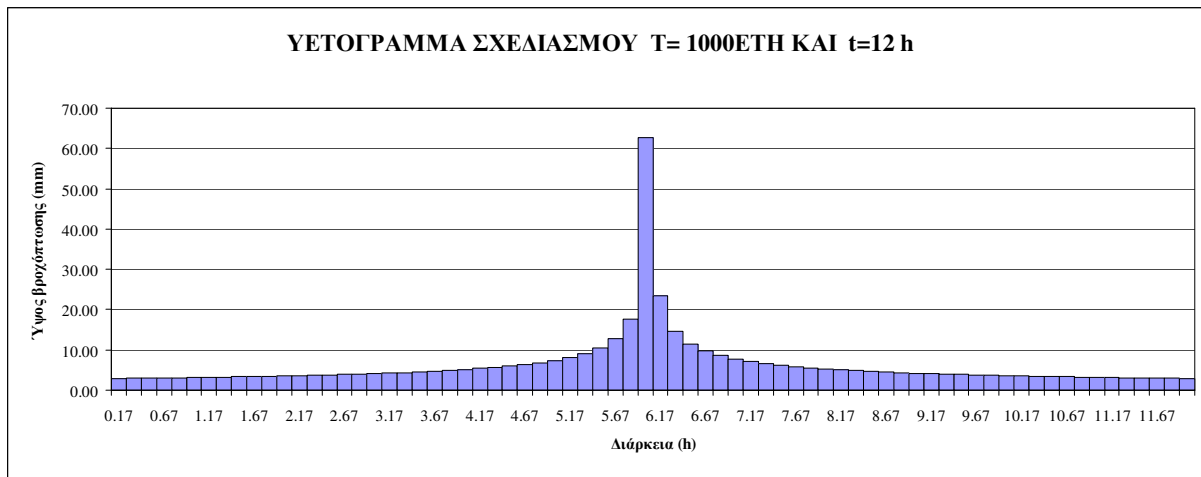
Σχήμα 5.24: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  και  $t = 12$  h



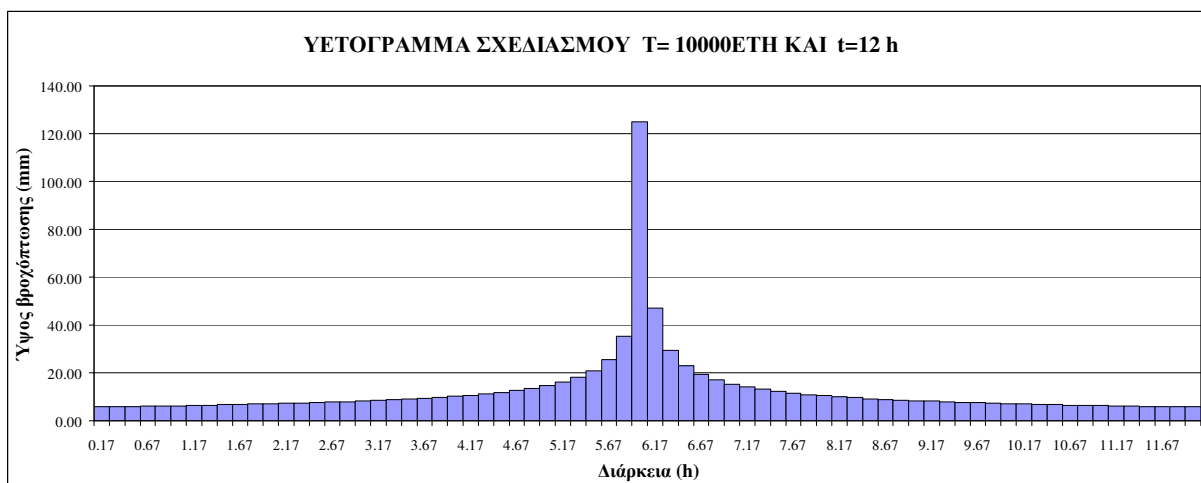
Σχήμα 5.25: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  και  $t = 12$  h



Σχήμα 5.26: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  και  $t = 12$  h



Σχήμα 5.27: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  και  $t = 12$  h



Σχήμα 5.28: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  και  $t = 12$  h

## 5.2 Περίπτωση με το απλό αποχετευτικό σύστημα

### 5.2.1 Γενικά

Τα συστήματα αποχέτευσης ομβρίων σχεδιάζονται ώστε να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε γεγονότα βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς έως και 25 έτη. Οι αγωγοί διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο, ώστε να ανταποκρίνονται σε γεγονότα βροχόπτωσης των οποίων η ένταση προσδιορίζεται από κάποια όμβρια καμπύλη. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε σαν όμβρια καμπύλη, αυτή του γραφείου Μαχαίρα. Η όμβρια καμπύλη αυτή εφαρμόστηκε για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης και στη συνέχεια και για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Όπως είναι προφανές, για γεγονότα βροχόπτωσης άνω των 25 ετών, το υπάρχον δίκτυο αναμένεται να υπερπληρωθεί είτε τμηματικά είτε ολικά. Στην περίπτωση που το δίκτυο υπερπληρωθεί, το σύστημα αδυνατεί να πραγματοποιεί υδραυλική διόδευση. Παρόλα αυτά, καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών από το πρόγραμμα SWMM.

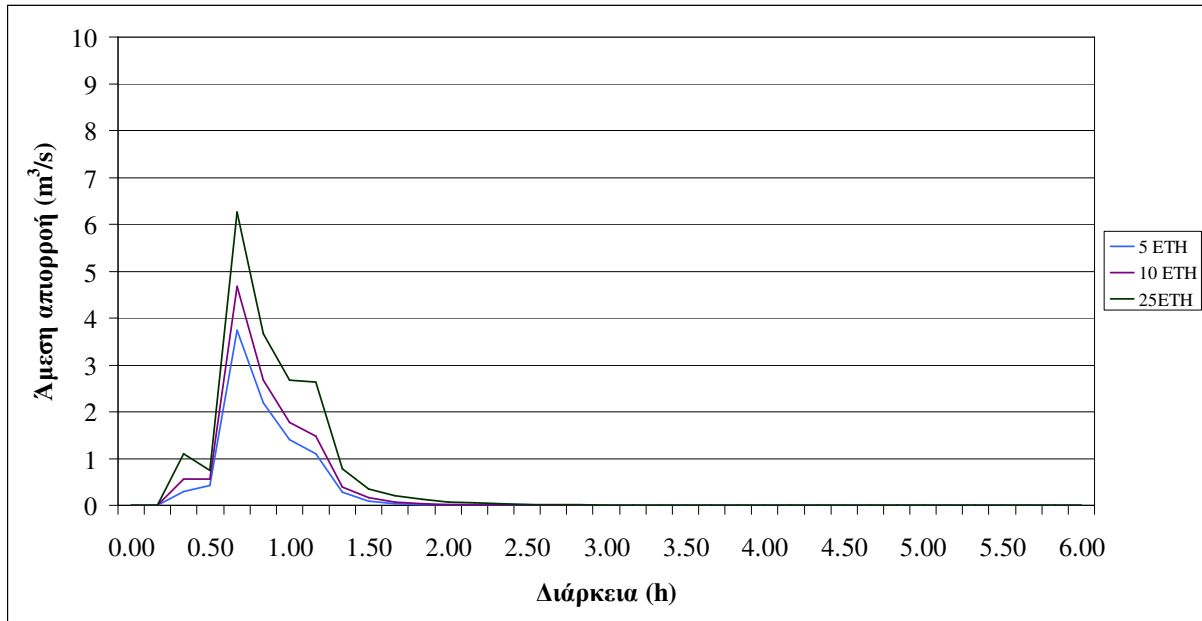
Το πρόγραμμα SWMM παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακες μέσω της φόρμας Status Report. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη φόρμα είναι:

1. Οι επιλογές της ανάλυσης: Πρόκειται για τις επιλογές που έγιναν για την προσομοίωση του δικτύου.
2. Τα σφάλματα συνέχειας: Πρόκειται για σφάλματα που παρουσιάζονται στη διόδευση της ροής. Σε αυτή τη φόρμα παρουσιάζονται οι παράμετροι που καθορίζουν το σφάλμα συνέχειας για την ποσότητα της απορροής εκφρασμένες σε όγκο και βάθος αποθήκευσης και οι παράμετροι που καθορίζουν το σφάλμα συνέχειας για τη διόδευση της ροής.
3. Τα αποτελέσματα της ευστάθειας: Πρόκειται για τα αποτελέσματα που εμφανίζουν τους αγωγούς του δικτύου με αστάθεια ροής.
4. Τα αποτελέσματα της απορροής: Εμφανίζονται τα επιμέρους στοιχεία για τις υπολεκάνες του δικτύου.
5. Τα βάθη στους κόμβους: Εμφανίζονται τα βάθη και η χρονική στιγμή εμφάνισής τους.
6. Οι εισροές στους κόμβους.
7. Η υπερχειλίση στους κόμβους: Εμφανίζονται ποιοι κόμβοι του δικτύου εμφανίζουν υπερχειλίση κατά την προσομοίωση του δικτύου.
8. Η πλημμύρα στους κόμβους.
9. Η παροχή στους συνδέσμους.
10. Η υπερχειλίση στους αγωγούς.

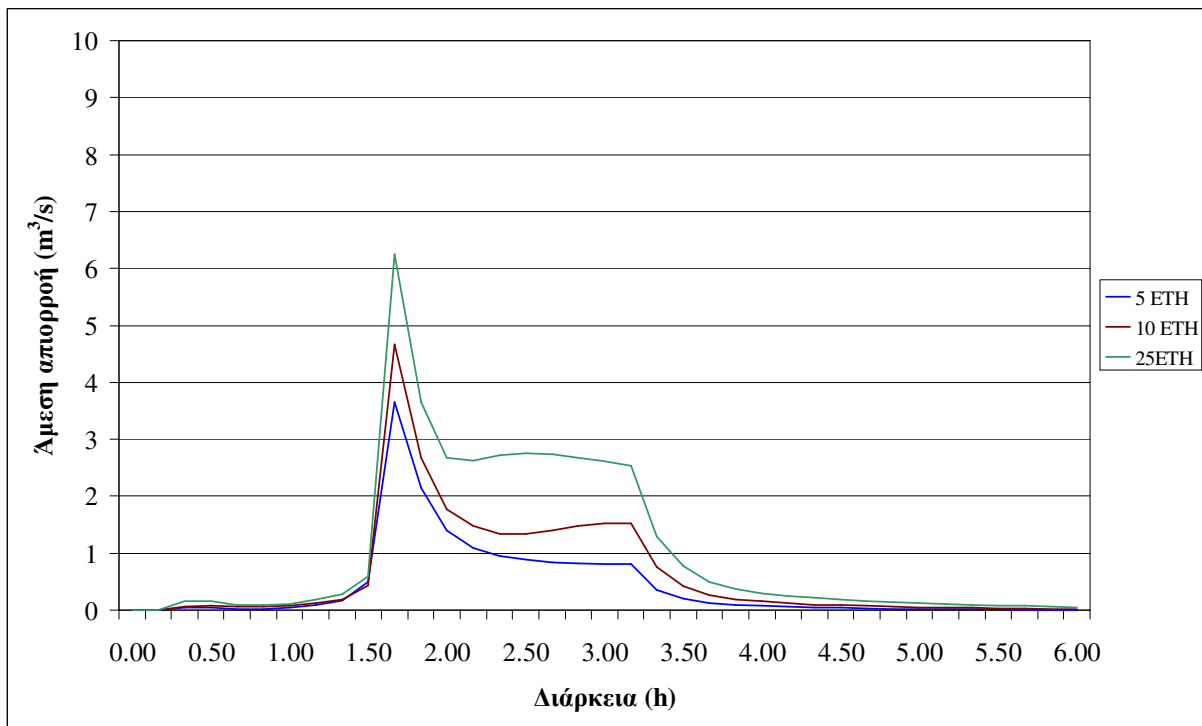
Όσον αφορά στα μεγάλα γεγονότα βροχόπτωσης, δημιουργήθηκε το πολυπλοκότερο δυαδικό αποχετευτικό δίκτυο του οποίου τα αποτελέσματα αναλύονται στη συνέχεια. Όπως είναι προφανές, το δυαδικό αυτό σύστημα, προσομοιώνει καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες, άρα τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του είναι ορθότερα. Παρόλα αυτά, προκειμένου να εξεταστεί και η λειτουργία του απλού αποχετευτικού δικτύου, στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

### **5.2.2 Περίπτωση με το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο (Περίπτωση Ι)**

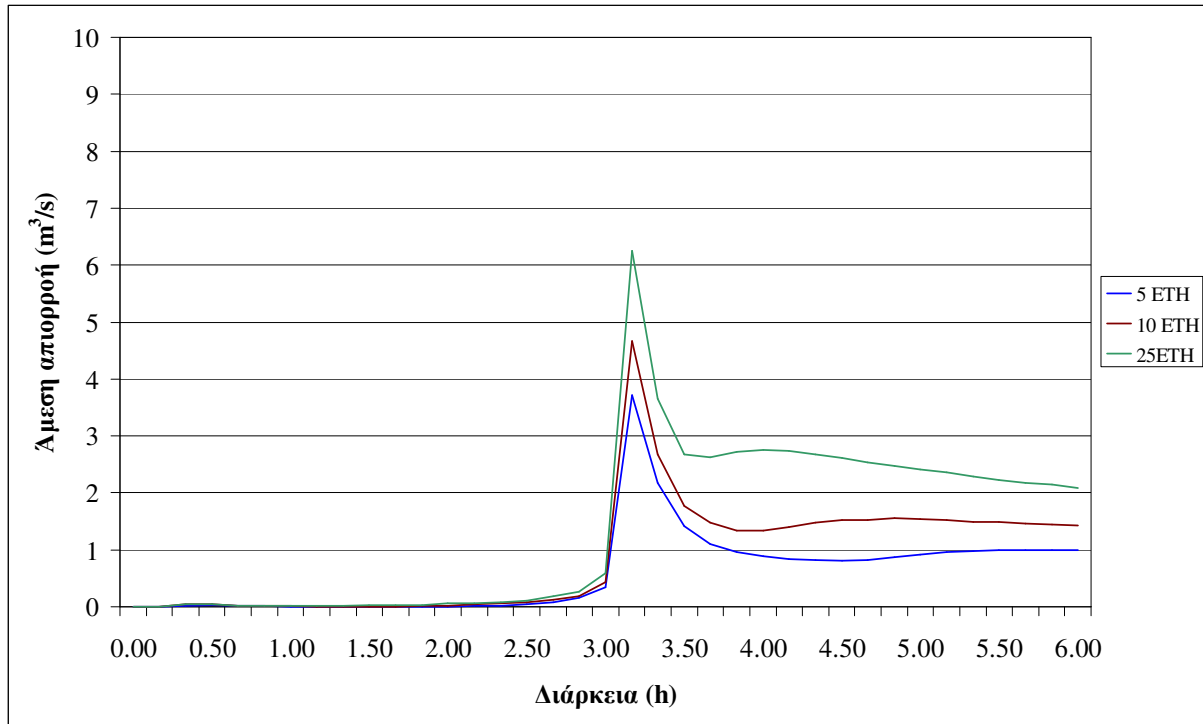
Στην περίπτωση αυτήν, θα εξεταστεί το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο για τις περιόδους επαναφοράς μέχρι και 25 έτη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα άμεσης απορροής για όλες τις διάρκειες και όλες τις περιόδους επαναφοράς., ενώ στο Παράρτημα 2 παρατίθενται σε πίνακες οι τεταγμένες τους. Προκειμένου να υπάρχει αντιστοιχία του χρονικού βήματος των υδρογραμμάτων και αυτού των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε το χρονικό βήμα των υδρογραφημάτων να είναι τα 10 λεπτά. Στη συνέχεια, θα ερμηνευθεί και η λειτουργία του κάθε αγωγού και θα παρουσιαστούν και τα προφίλ τους. Στο Παράρτημα 2, παριστάνονται αναλυτικά οι τεταγμένες των υδρογραφημάτων αυτών.



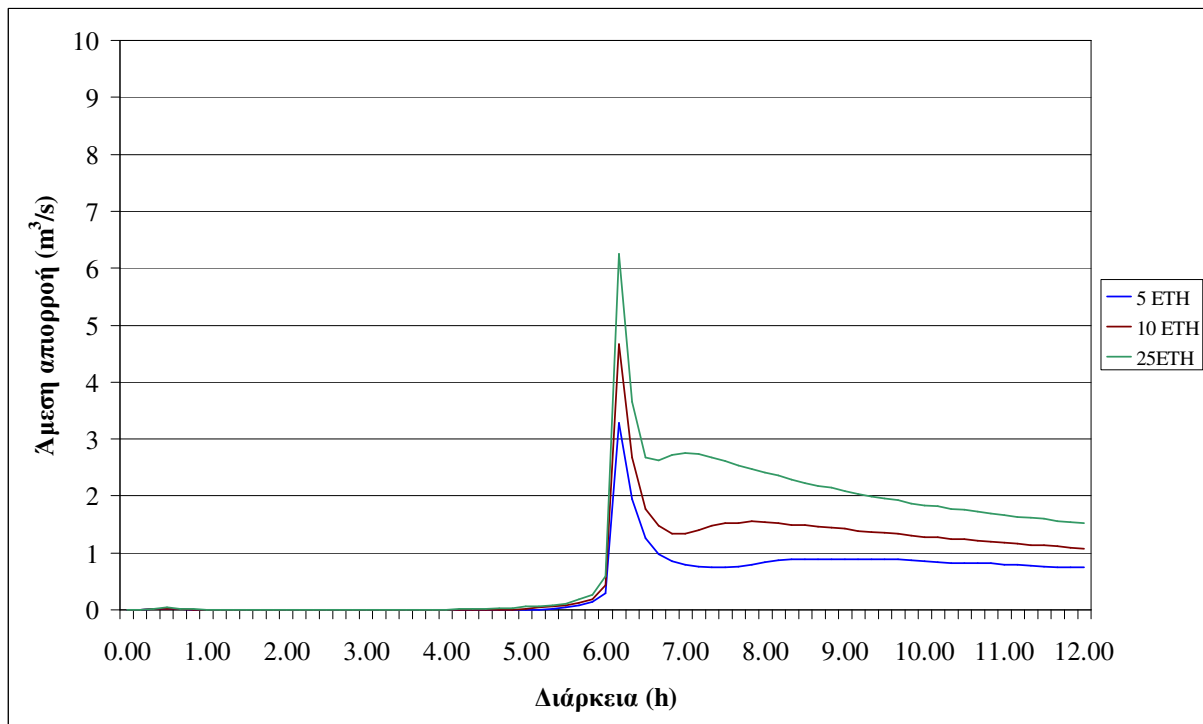
Σχήμα 5.29: Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 1 ώρας με εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας



Σχήμα 5.30: Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 3 ωρών με εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας



Σχήμα 5.31: Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 6 ωρών με εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας



Σχήμα 5.32: Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 12 ωρών με εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνονται τα εξής:

1. Για πλημμυρικά γεγονότα περιόδου επαναφοράς έως 25 ετών και διάρκειας 1 h, η αιχμή εμφανίζεται λίγο πριν από τη 1 h για όλα τα γεγονότα βροχόπτωσης. Η μέγιστη παροχή είναι αυτή των 25 ετών και προκύπτει ίση με  $6.27 \text{ m}^3/\text{s}$ .

2. Για πλημμυρικά γεγονότα έως 25 ετών και διάρκειας 3 h, η αιχμή εμφανίζεται μεταξύ της 1<sup>ης</sup> και της 2<sup>ης</sup> ώρας για όλα τα γεγονότα βροχόπτωσης. Όπου η μέγιστη παροχή είναι αυτή των 25 ετών και προκύπτει ίση με  $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

3. Για πλημμυρικά γεγονότα έως 25 ετών και διάρκειας 6 h, η αιχμή εμφανίζεται λίγο μετά την 3<sup>η</sup> ώρα για όλα τα γεγονότα βροχόπτωσης. Τη στιγμή της αιχμής, η παροχή είναι ίση με  $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, παρατηρείται ότι για γεγονότα βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 25 ετών, με την εφαρμογή της συγκεκριμένης όμβριας καμπύλης, δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της πλημμύρας. Στη συνέχεια, θα εξεταστεί το ενδεχόμενο πλημμύρας για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία από τις εξόδους των αγωγών όμβριων υδάτων στο ρέμα της Ραφήνας.



Σχήμα 5.33: Κυκλικός αγωγός του δικτύου ομβρίων που καταλήγει στο ρέμα (Κοψιάτη, 2006)

### **5.2.3 Εφαρμογή βροχοπτώσεων μεγάλης περιόδου επαναφοράς στο απλό αποχετευτικό δίκτυο**

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα εφαρμοστεί στο αποχετευτικό δίκτυο, βροχή που αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη από αυτήν για την οποία έχει σχεδιαστεί. Συνεπώς, αναμένεται κάποιοι αγωγοί να υπερφορτιστούν και κάποια φρεάτια να υπερφορτιστούν και να ξεχειλίσουν. Σύμφωνα με το λογισμικό SWMM η υπερφόρτιση ενός αγωγού είναι η κατάσταση κατά την οποία αυτός γεμίζει πλήρως και από αγωγός με ελεύθερη επιφάνεια γίνεται αγωγός υπό πίεση. Η υπερφόρτιση ενός κόμβου παρουσιάζεται όταν το νερό φτάσει

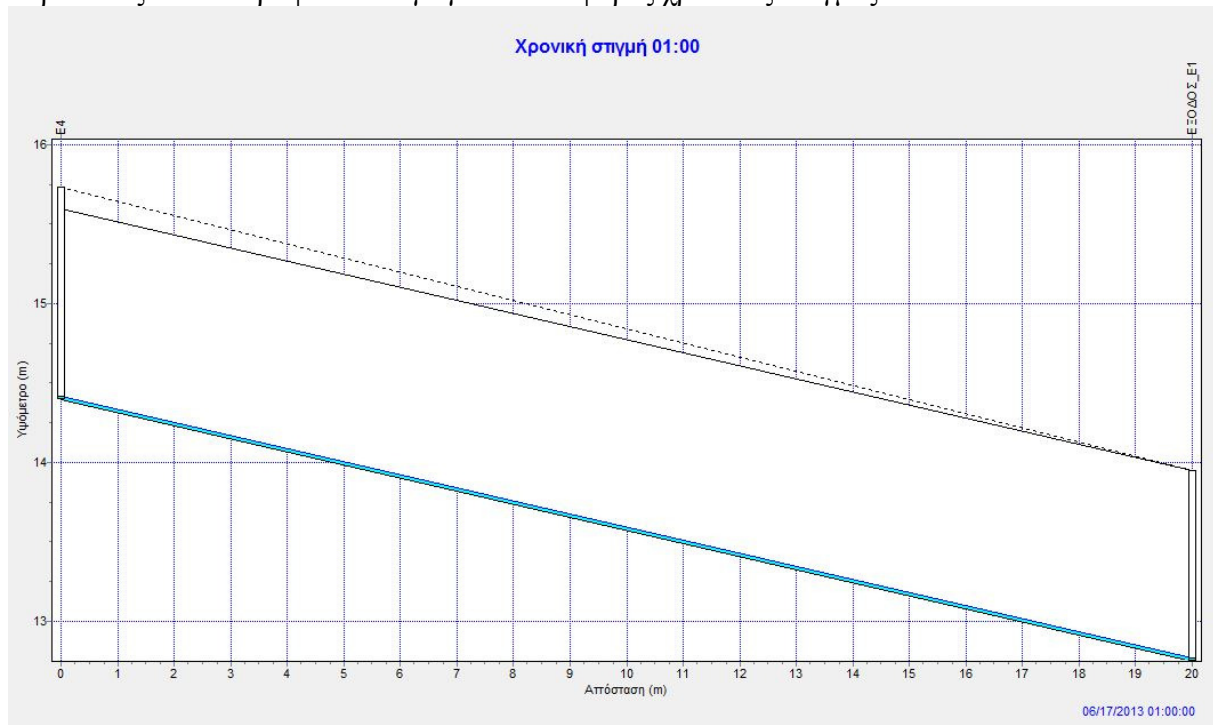


ακριβώς πάνω από τη στέψη του υψηλότερου υψομετρικά συνδεδεμένου αγωγού, ενώ πλημμύρισμα συμβαίνει όταν το νερό υπερχειλίζει σε ένα φρεάτιο, είτε αυτό λιμνάσει, είτε όχι. Στους ανοιχτούς αγωγούς τα φρεάτια υπερφορτίζονται και πλημμυρίζουν αντίστοιχα.

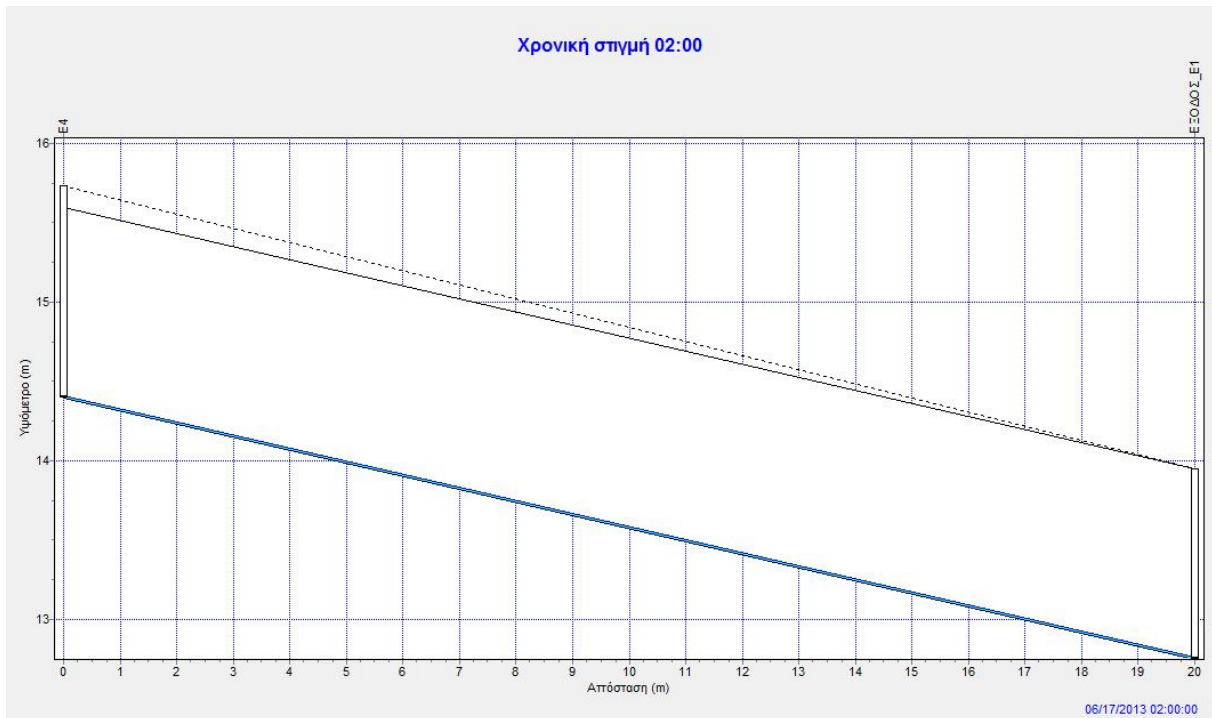
Όπως είναι προφανές, για περίοδο επαναφοράς λίγο μεγαλύτερη των 25 ετών, κάποια φρεάτια του συστήματος θα πλημμυρίσουν, ενώ αν η περίοδος επαναφοράς αυξηθεί σημαντικά, τότε ενδέχεται να πλημμυρίσουν σημαντικά και όλα τα φρεάτια του συστήματος.

Παρακάτω, θα εξεταστεί η συμπεριφορά του συστήματος για περίοδο επαναφοράς 50 έτη και προκειμένου να μην παρουσιαστεί μεγάλος όγκος αποτελεσμάτων που θα είναι δύσκολο να παρακολουθηθούν, θα εξεταστεί η συμπεριφορά του συστήματος για περίοδο επαναφοράς 50 ετών και για διάρκεια 12 ώρες.

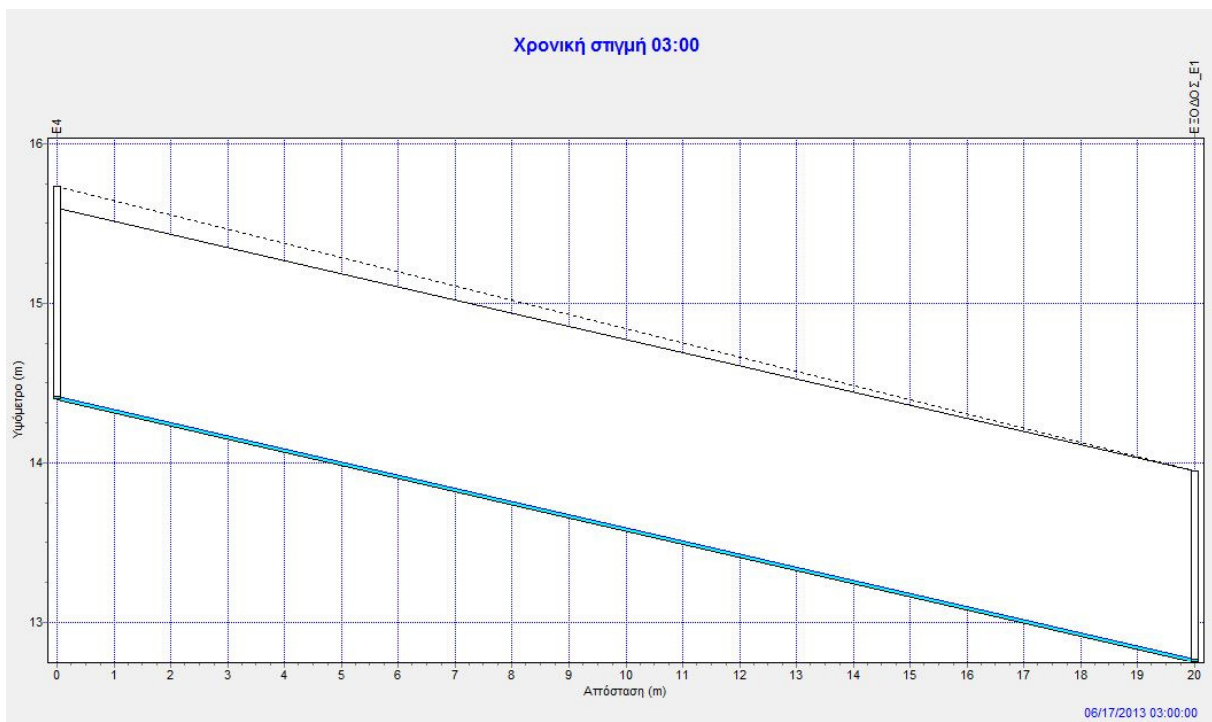
Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ο αγωγός με τη μέγιστη παροχή είναι αυτός στην Οδό Δημοκρατίας και μάλιστα το τελευταίο τμήμα, λίγο πριν την έξοδο στο ρέμα, η οποία προέκυψε ίση με  $4.28 \text{ m}^3/\text{s}$  και εμφανίζεται λίγο μετά την 6<sup>η</sup> ώρα. Παρακάτω παρουσιάζεται το προφίλ του αγωγού σε διάφορες χρονικές στιγμές.



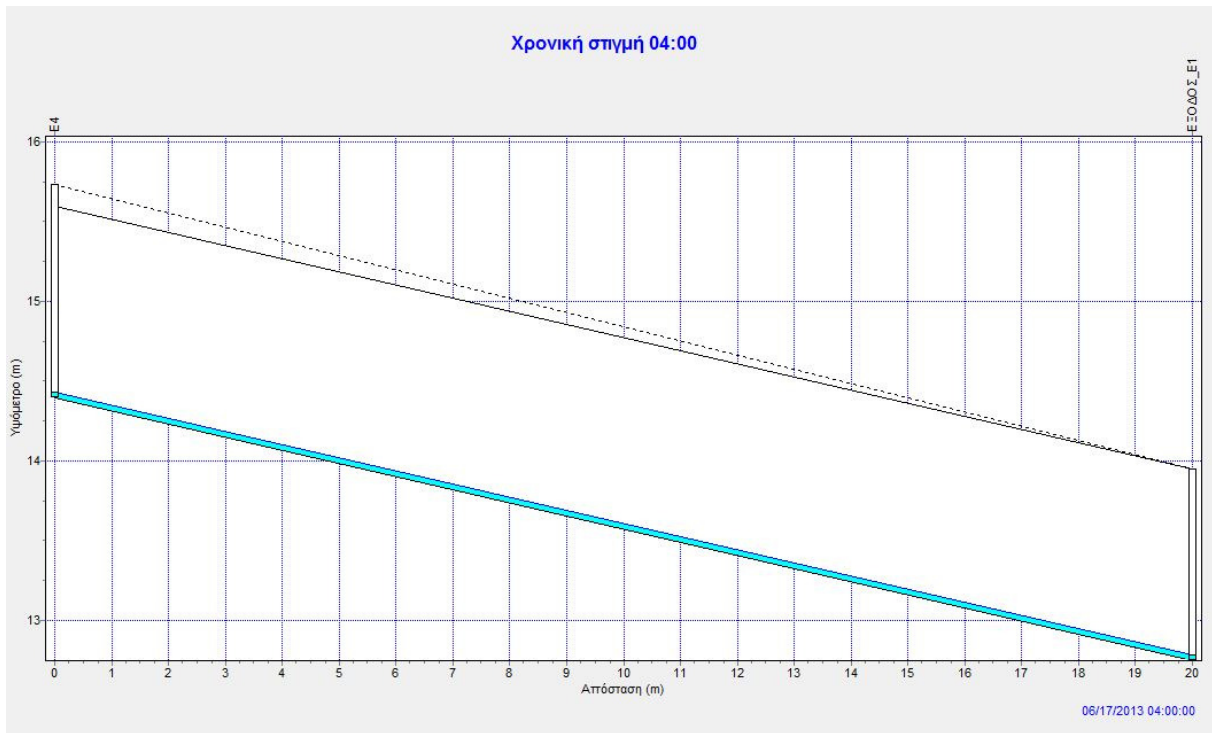
Σχήμα 5.34: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 1:00



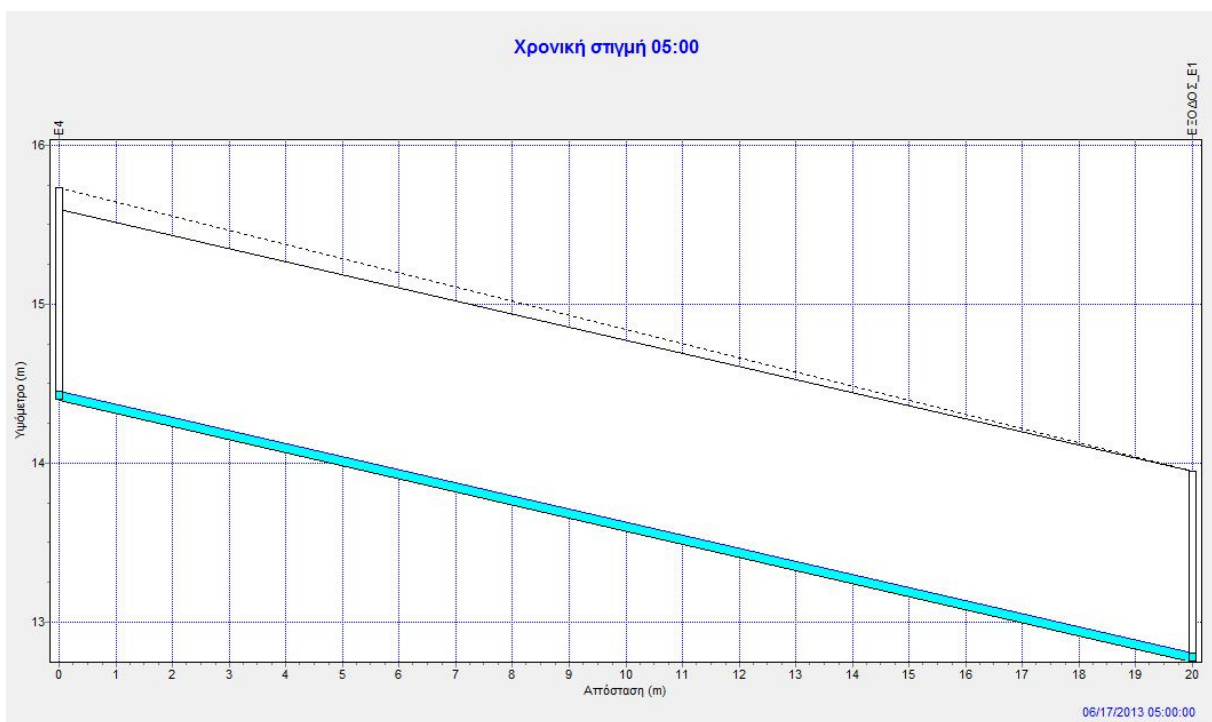
Σχήμα 5.35: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 2:00



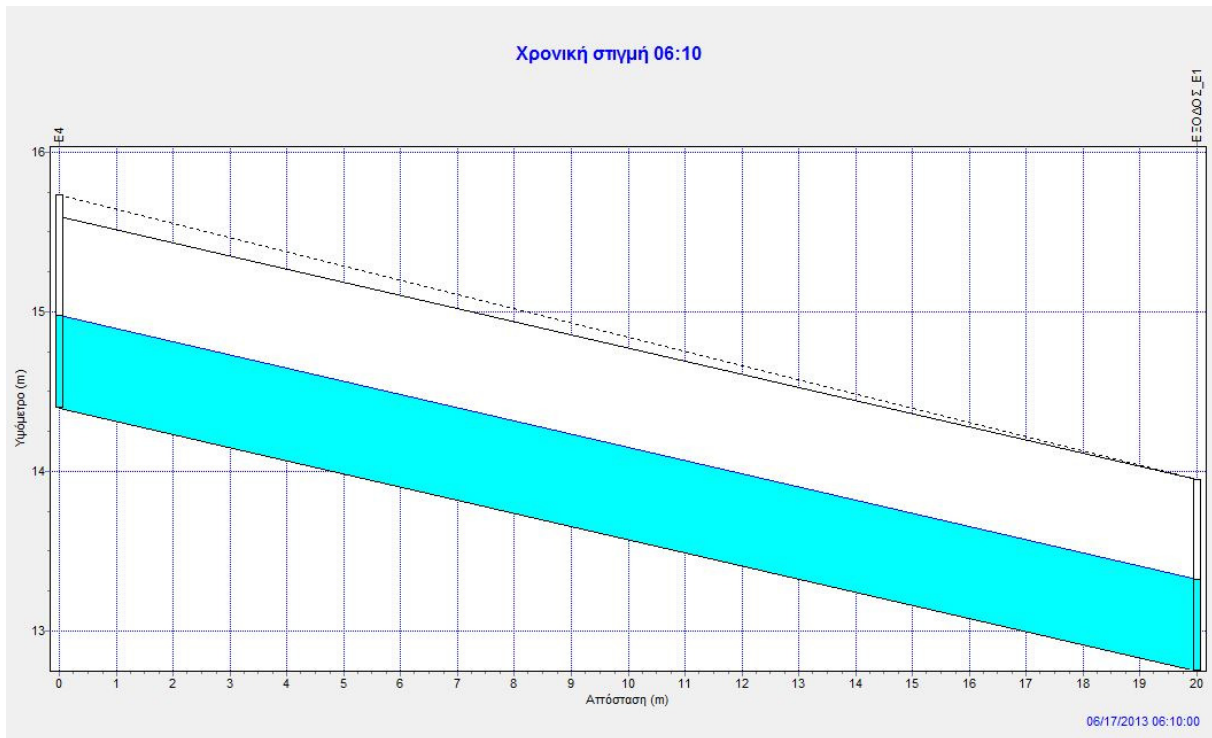
Σχήμα 5.36: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 3:00



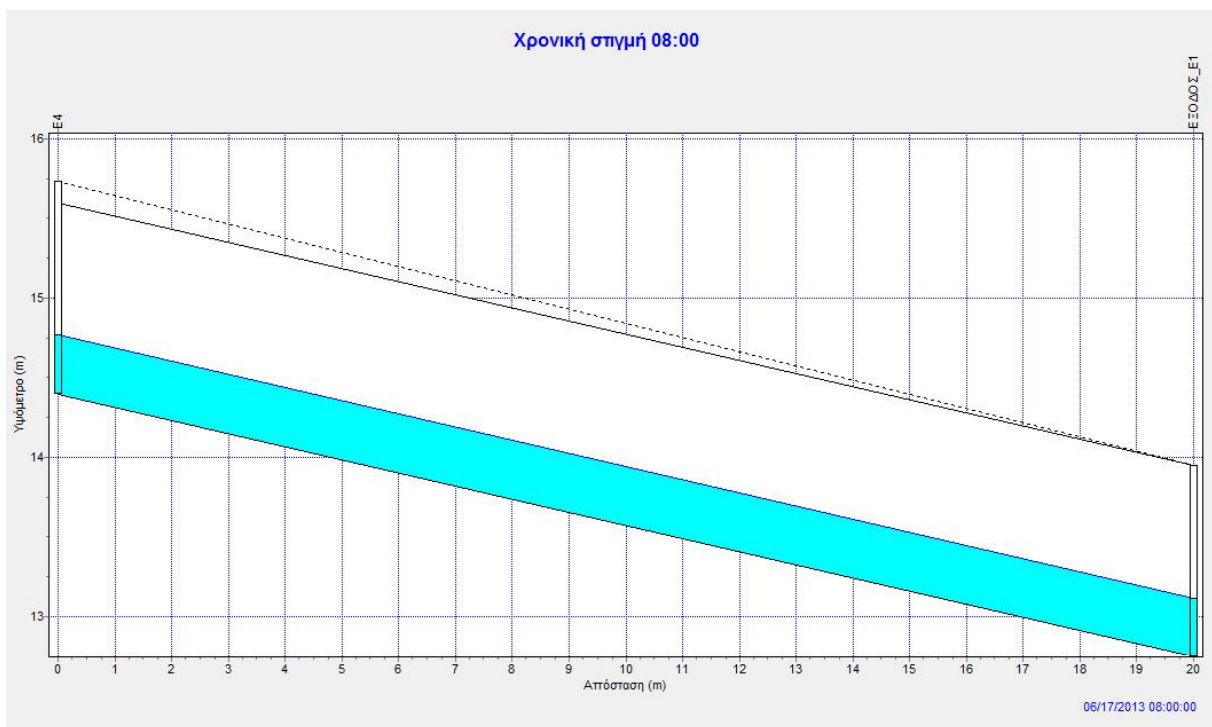
Σχήμα 5.37: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 4:00



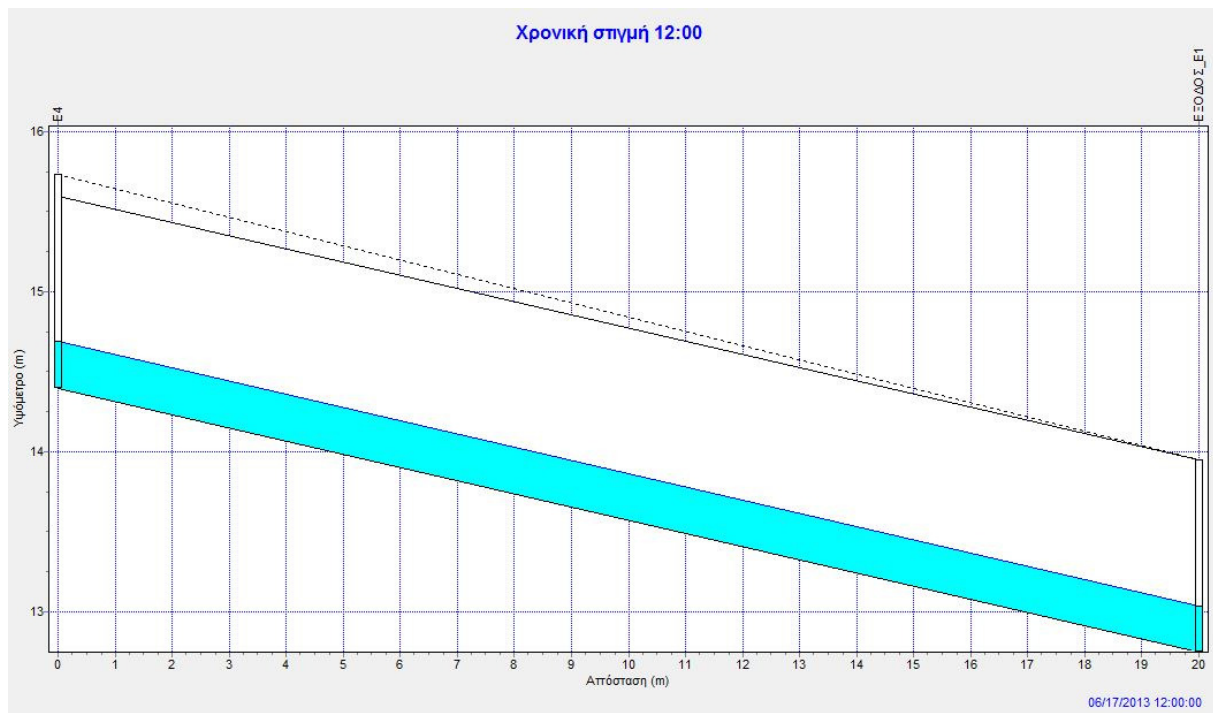
Σχήμα 5.38: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 6:00



Σχήμα 5.39: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 6:10



Σχήμα 5.40: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 8:00

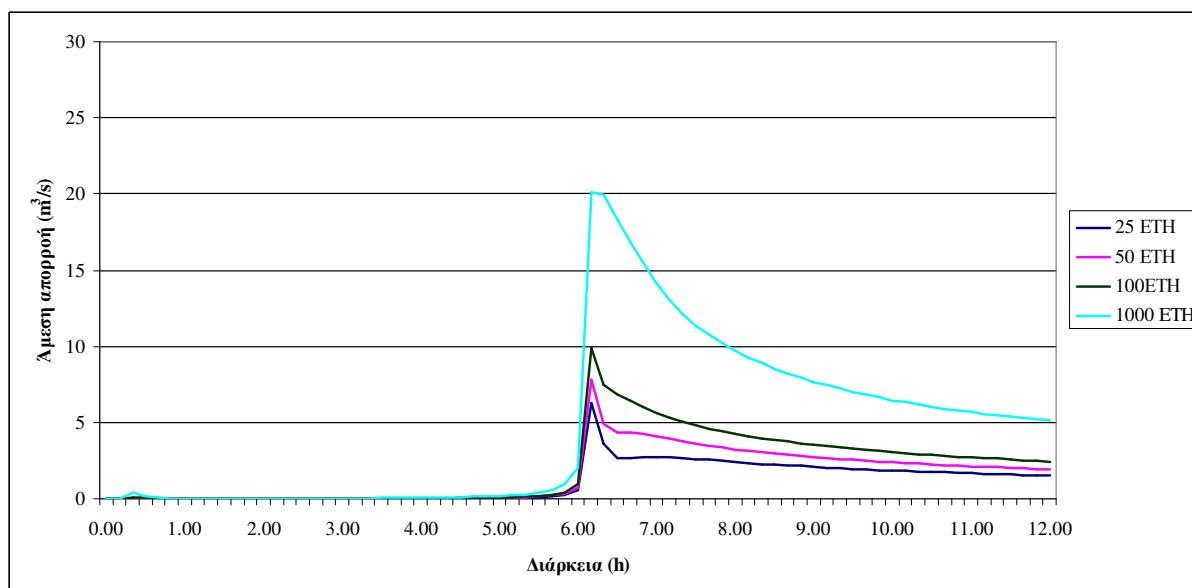


Σχήμα 5.41: Στάθμη του νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή 12:00

Παρατηρείται λοιπόν ότι για περίοδο επαναφοράς 50 και 100 ετών δεν παρατηρείται υπερχειλίση ούτε στους κόμβους ούτε στους αγωγούς. Το αποτέλεσμα αυτό δεν αποδεικνύει ότι το σύστημα αποχέτευσης όμβριων υδάτων είναι αποτελεσματικό, καθώς αυτό το συμπέρασμα βασίζεται σε πολλούς παράγοντες. Αρχικά, τα πρωταρχικά ελλιπή δεδομένα οδήγησαν σε πολύ σημαντικές παραδοχές όσον αφορά τις λεκάνες απορροής και το σημείο εκβολής της κάθε μίας. Επίσης, η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιείται είναι πιθανόν να μην καλύπτει την περιοχή, αφού κατασκευάστηκε για τη μελέτη του ρέματος της Ραφήνας και άρα εξαρτάται από τους παράγοντες της συγκεκριμένης λεκάνης για την οποία κατασκευάστηκε, μιας περιοχής με διαφορετικά κατακρημνίσματα και διαφορετικές παραμέτρους. Επιπροσθέτως, η περιοχή της Ραφήνας είναι μία αναπτυσσόμενη οικιστικά περιοχή, που σημαίνει ότι είναι πιθανό το δίκτυο να έχει υπερδιαστασιολογηθεί, ώστε να καλύψει και το ενδεχόμενο πλήρους οικιστικής ανάπτυξης.

Κρίνεται σκόπιμο σε αυτήν την περίπτωση να παρουσιαστεί το υδρογράφημα άμεσης απορροής για τις 12 ώρες και για τις περιόδους επαναφοράς 25, 50, 100 και 1000 ετών, ώστε να εκτιμηθεί αν η αιχμή της παροχής για κάθε περίοδο επαναφοράς είναι σημαντική ή όχι.





Σχήμα 5.42: Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 1 ώρας με εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας

Όπως λοιπόν παρατηρείται στο παραπάνω υδρογράφημα άμεσης απορροής προκύπτει ότι σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη του γραφείου Μαχαίρα, όσον αφορά στα 25, 50 και 100 έτη οι διαφορές στην παροχή είναι της τάξης του 25% από τα 50 στα 100 έτη, γεγονός που δείχνει ότι η μεταβολή αυτή δεν είναι ικανή να προκαλέσει πλημμύρα στο δίκτυο. Όμως όταν η περίοδος επαναφοράς αυξάνεται από τα 100 έτη στα 1000 έτη, παρατηρείται διπλασιασμός της παροχής αιχμής, γεγονός που οδηγεί στην πλημμύρα του δικτύου και η οποία αναλύεται στη συνέχεια.

#### 5.2.4 Εφαρμογή βροχοπτώσεων περιόδου επαναφοράς 1000 ετών στο απλό αποχετευτικό δίκτυο

Προσομοιώνοντας λοιπόν το δίκτυο αποχέτευσης όμβριων υδάτων για περίοδο επαναφοράς 1000 έτη και διάρκεια 6h, παρατηρείται υπερφόρτιση κάποιων αγωγών καθώς και φρεατίων. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν υπερφορτίσεις αγωγών και φρεατίων όπως εμφανίστηκαν στην κατάσταση αναφοράς (status report).

Πίνακας 5.1: Φρεάτια που πλημμύρισαν κατά τη διάρκεια γεγονότος βροχόπτωσης  $T = 1000$  ετών και  $t = 6$  h.

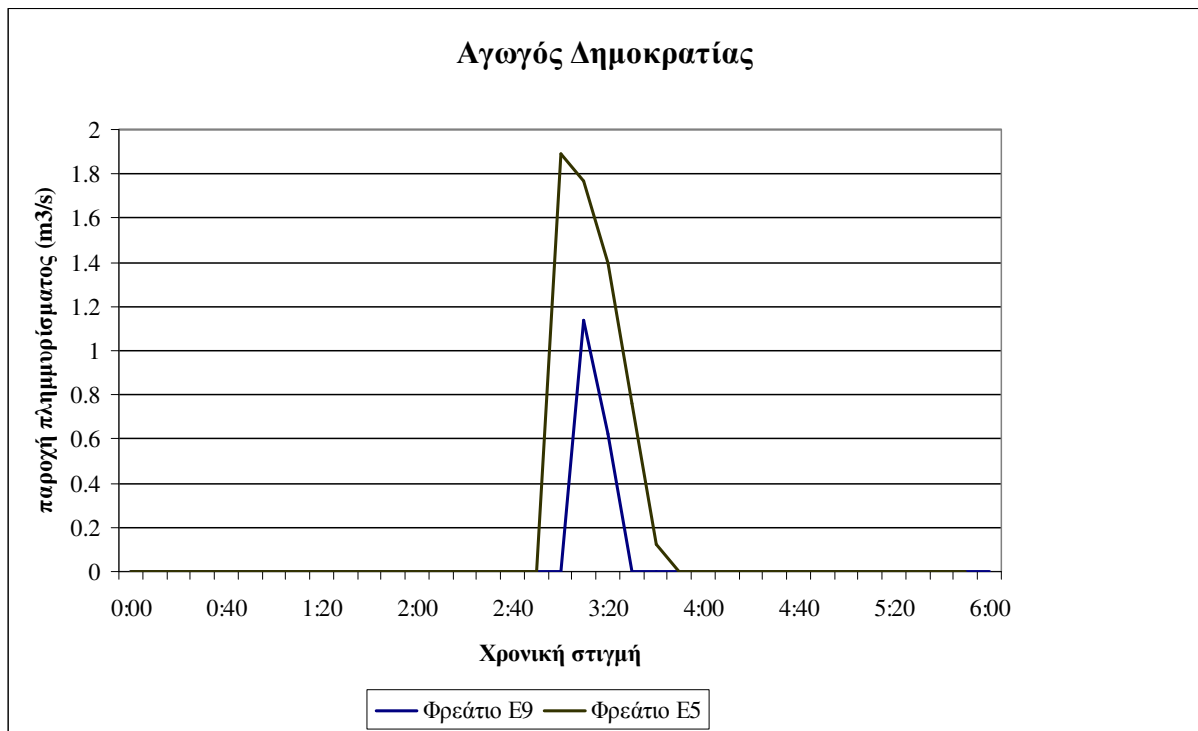
Κόμβος	Οδού	Ωρες πλημμυρίσματος (h)	Μέγιστος ρυθμός (m <sup>3</sup> /s)	Χρονική στιγμή εμφάνισης μέγιστης στάθμης (h:min)	Συνολικός όγκος πλημμύρας (m <sup>3</sup> )
E9	Δημοκρατίας	0.25	1.143	3:10	409
E8	Δημοκρατίας	0.01	0.147	3:09	1
E6	Δημοκρατίας	0.43	1.605	3:10	1402
E5	Δημοκρατίας	0.79	1.885	3:10	3376
Δ7	Ειρήνης	0.13	0.430	3:10	63
Γ3.2	Φλέμινγκ	0.25	0.504	3:10	157
Γ3.1	Φλέμινγκ	0.01	0.174	3:05	1
Γ3	Φλέμινγκ	0.46	0.711	3:08	683
Γ6.7	Προύσης	0.01	0.033	3:09	1
Γ6.6	Προύσης	0.45	0.365	3:10	285
Γ6.5	Προύσης	0.03	0.038	3:07	1
Γ6.4	Προύσης	0.25	0.110	3:10	43
Γ6.3	Προύσης	0.01	0.049	3:08	1
Γ6	Βασ.Γεωργίου	0.66	1.249	3:10	1427
Γ5	Βασ.Γεωργίου	0.22	0.196	3:10	57
Γ4	Βασ.Γεωργίου	0.01	0.086	3:04	1
Γ7	Βασ.Γεωργίου	0.01	0.052	3:07	1
A7	Βασ.Παύλου	0.01	0.102	3:08	1
A5	Αρ. Αλών	0.07	0.226	3:10	27
A7.1	Φλέμινγκ	0.01	0.069	3:10	1
E4	Δημοκρατίας	0.26	2.117	3:09	641

Πίνακας 5.2: Υπερφορτισμένοι αγωγοί με 100% ποσοστό πλήρωσης

ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.06	E8 E9
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.03	E5 E6
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.02	E4 E5
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.01	ΕΞΟΔΟΣ_Ε1 E4
ΦΛΕΜΙΝΓΚ.01	Γ3.2 Γ3.1
ΦΛΕΜΙΝΓΚ.02	Γ3.1 Γ3
ΠΡΟΥΣΗΣ.07	Γ6.7 Γ6.6
ΠΡΟΥΣΗΣ.06	Γ6.6 Γ6.5
ΠΡΟΥΣΗΣ.05	Γ6.5 Γ6.4
ΠΡΟΥΣΗΣ.04	Γ6.4 Γ6.3
ΒΑΣ.ΓΕΩΡΓΙΟΥ.03	Γ6 Γ5
ΒΑΣ.ΓΕΩΡΓΙΟΥ.02	Γ5 Γ4
ΒΑΣ.ΓΕΩΡΓΙΟΥ.01	Γ4 Γ3
ΒΑΣ.ΓΕΩΡΓΙΟΥ.04	Γ7 Γ6
ΒΑΣ.ΓΕΩΡΓΙΟΥ.05	A7 A7.1
ΑΡΑΦ.ΑΛΩΝ.04	A4 A5

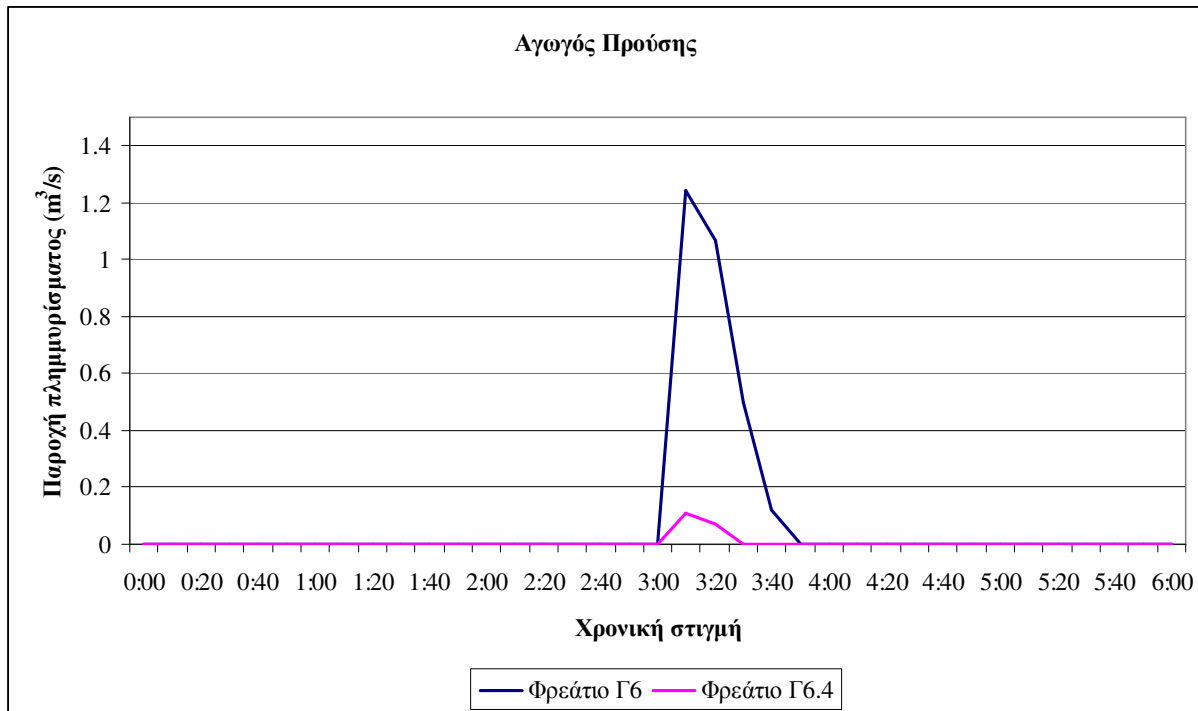
Το λογισμικό SWMM έχει την ικανότητα αναπαράστασης των αποτελεσμάτων διαφόρων υδραυλικών μεγεθών που αφορούν τα φρεάτια. Στη συνέχεια, παρατίθενται διαγράμματα που απεικονίζουν τη διάρκεια και την αιχμή του πλημμυρίσματος για κάποια φρεάτια του Πίνακα 5.1. Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα πού βρίσκονται τα πλημμυρισμένα φρεάτια, μαζί με κάθε διάγραμμα υπάρχει και η αναπαράσταση του αντίστοιχου αγωγού με τα φρεάτιά του.





Σχήμα 5.43: Αναπαράσταση πλημμυρίσματος φρεατίων οδού Δημοκρατίας ύστερα από βροχόπτωση  $T = 1000$  ετών και  $t = 6$  h.

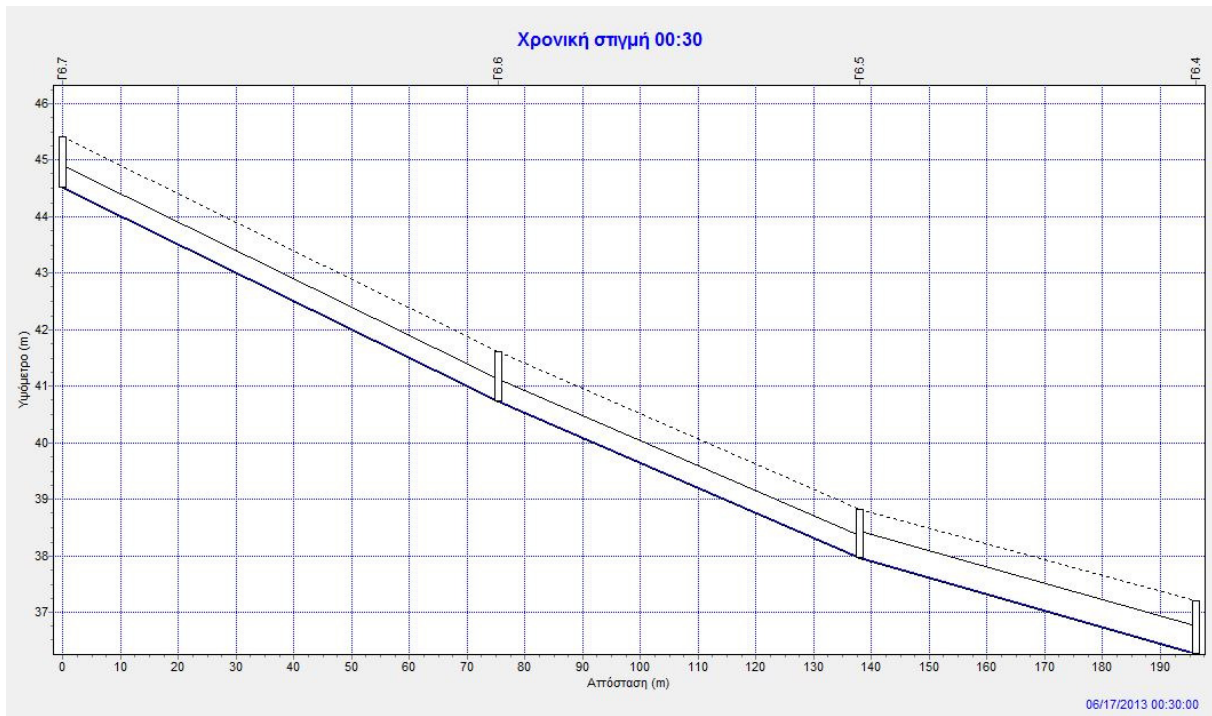
Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται όλα τα φρεάτια που υπερφορτίστηκαν και πλημμύρισαν για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 1000 ετών και διάρκειας 6 h. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού της χρονικής στιγμής του πλημμυρίσματος καθώς και τη διάρκεια που αυτά ήταν υπερφορτισμένα. Η κατάσταση αναφοράς δείχνει τη χρονική στιγμή που το νερό έφτασε στη μέγιστη στάθμη καθώς και το συνολικό όγκο του νερού σε κάθε φρεάτιο. Παρατηρείται λοιπόν ότι όλα τα φρεάτια πλημμυρίζουν λίγο μετά από την 3<sup>η</sup> ώρα, αφού τότε είναι και η αιχμή της πλημμύρας. Αξίζει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι το φρεάτιο Γ6 που βρίσκεται στη διασταύρωση των οδών Προύσης και Βασιλέως Γεωργίου είναι πλημμυρισμένο για σχεδόν 1 ώρα, ενώ αντίστοιχα το φρεάτιο Γ6.4 που βρίσκεται στην οδό Προύσης είναι πλημμυρισμένο για 0.25 h, όπως φαίνεται γραφικά και στο Σχήμα 5.44 που ακολουθεί. Παρατηρώντας τον Πίνακα 5.1 επίσης διαπιστώνεται ότι στο φρεάτιο Γ.6 ο συνολικός όγκος νερού είναι  $1427 \text{ m}^3$ , ενώ αντίστοιχα στο φρεάτιο Γ6.4 ο όγκος πλημμύρας είναι ίσος με  $43 \text{ m}^3$ . Τέλος, φαίνεται ότι στον Πίνακα 5.2 δεν περιλαμβάνονται όλα τα φρεάτια του Πίνακα 5.1, αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι στον Πίνακα 5.2 καταγράφονται οι αγωγοί με 100% ποσοστό πλήρωσης, ενώ το πρόγραμμα θεωρεί υπερφορτισμένους τους αγωγούς με ποσοστό πλήρωσης από 90% έως 100%. Στο Σχήμα 5.44 παρατηρείται η παροχή πλημμυρίσματος, η οποία σημειώνεται λίγο μετά την 3<sup>η</sup> ώρα. Παρατηρείται όμως ότι το φρεάτιο Γ 6.4 παραμένει πλημμυρισμένο για περίπου 20 λεπτά, σε σχέση με το Γ6 που πλημμυρίζει για 40 λεπτά.



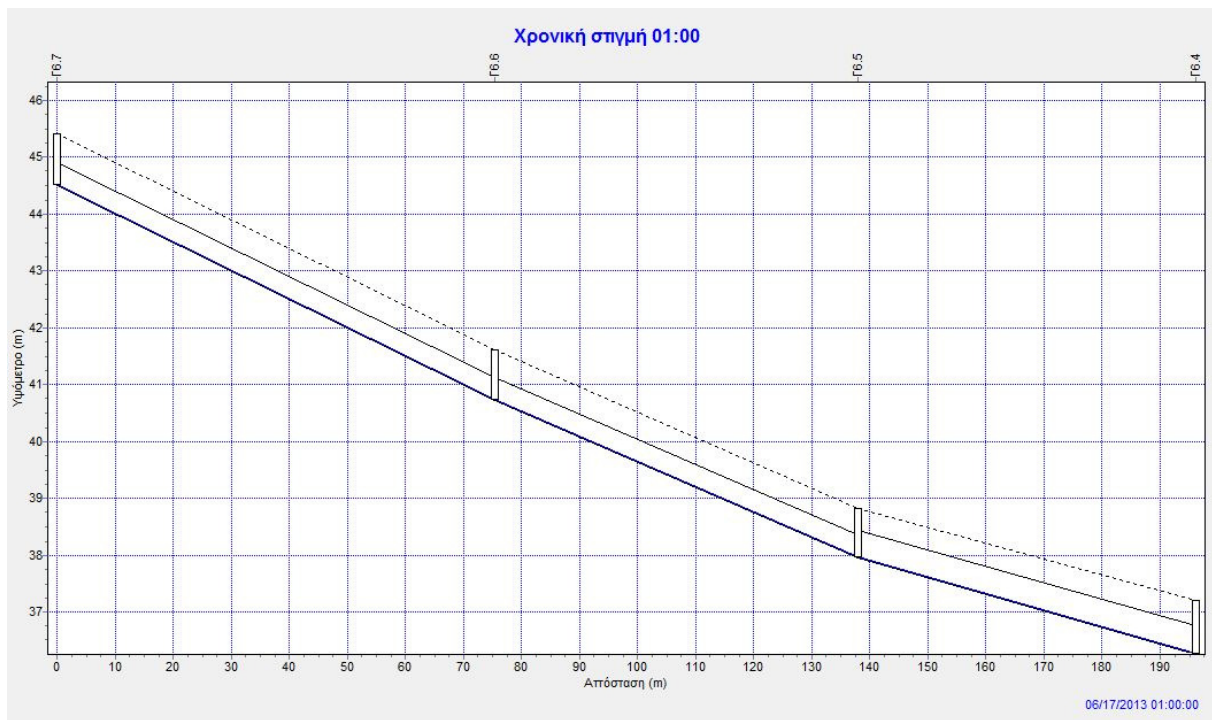
Σχήμα 5.44: Αναπαράσταση πλημμυρίσματος φρεατίων οδού Δημοκρατίας ύστερα από βροχόπτωση  $T = 1000$  ετών και  $t = 6$  h.

### 5.2.5 Μοντελοποίηση του βάθους ροής σε αγωγό του δικτύου για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 1000 ετών

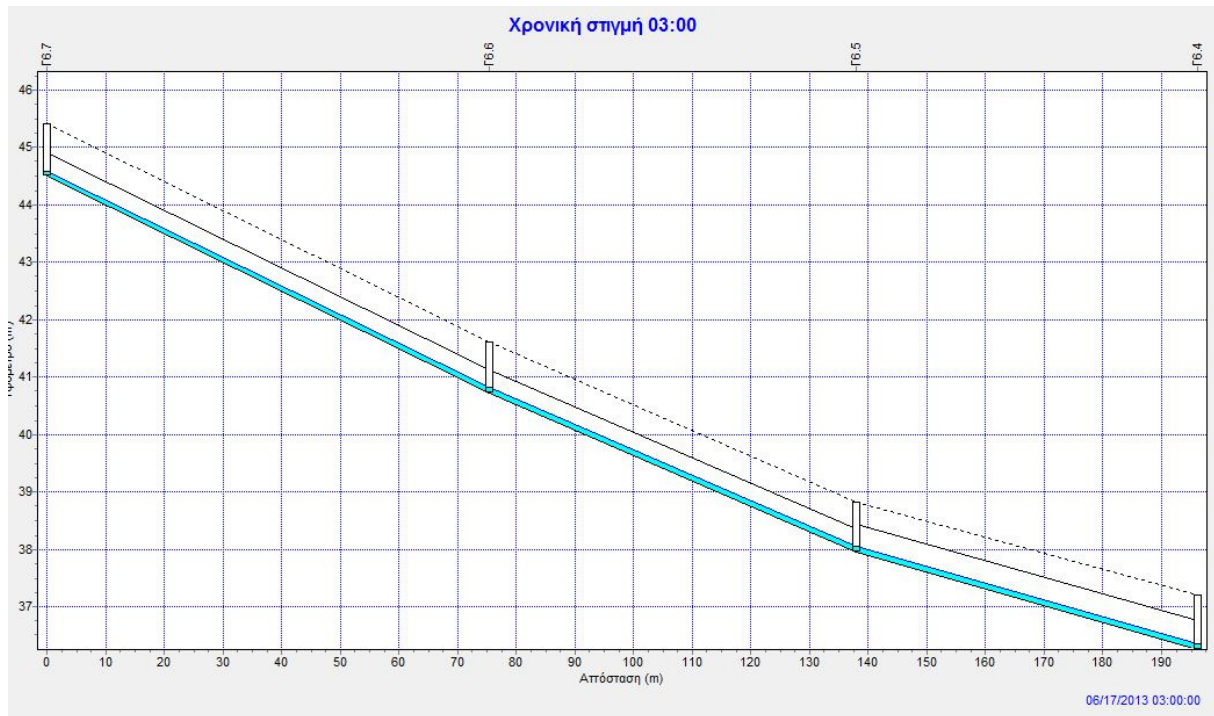
Το πρόγραμμα SWMM έχει και τη δυνατότητα εξαγωγής του προφίλ του αγωγού σε κάθε χρονική στιγμή του γεγονότος βροχόπτωσης. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται ευκολότερη η παρουσίαση της μεταβολής του βάθους ροής με την πάροδο του χρόνου, σε οποιοδήποτε αγωγό. Ενδεικτικά σε αυτό το σημείο παρακολουθείται ένα τμήμα του αγωγού στην οδό Προύσης με βροχή 1000 ετών. Ο αγωγός αυτός αποτελείται από 7 τμήματα και αποτελείται από 8 φρεάτια και συναντάει τον αγωγό στη Βασ. Γεωργίου όπου τελικά καταλήγει στο ρέμα της Ραφήνας. Όπως παρατηρείται και στον Πίνακα 5.1 τα φρεάτια Γ6.7, Γ6.6, Γ6.5, Γ6.4 πλημμυρίζουν λίγο μετά την 3<sup>η</sup> ώρα, όπου παρατηρείται και η αιχμή της πλημμύρας.



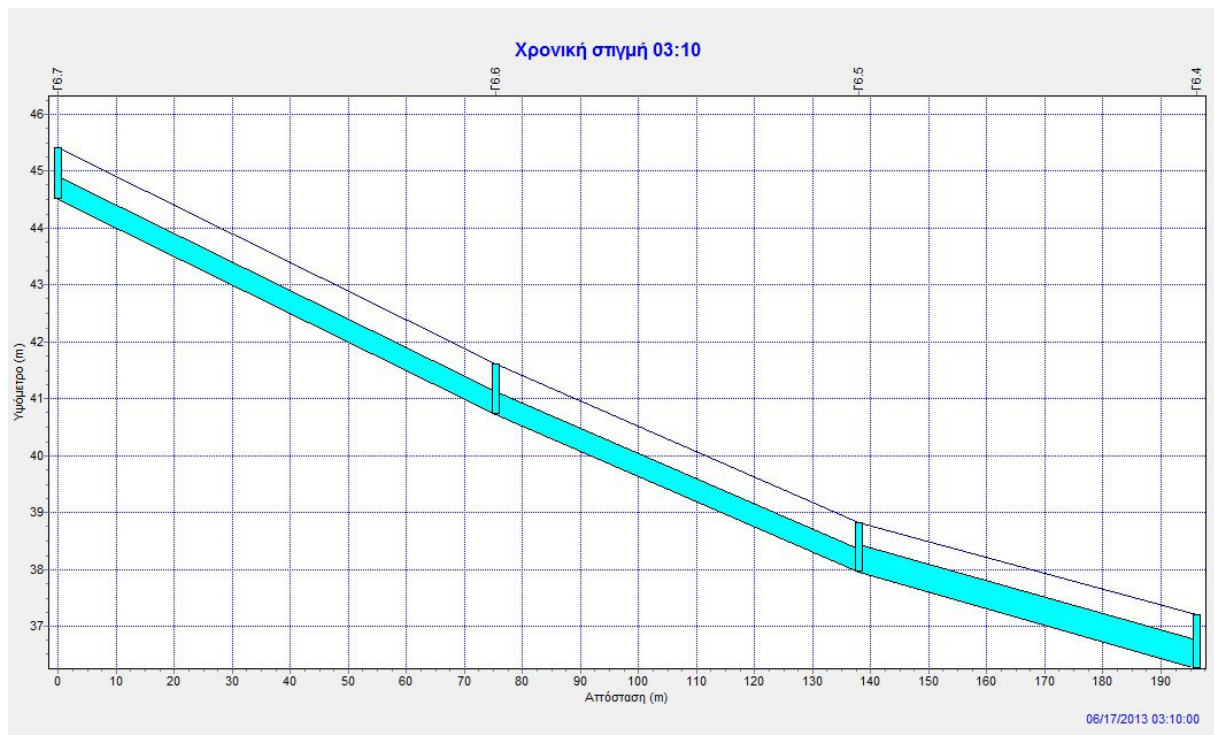
Σχήμα 5.45:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 00:30



Σχήμα 5.46:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 01:00

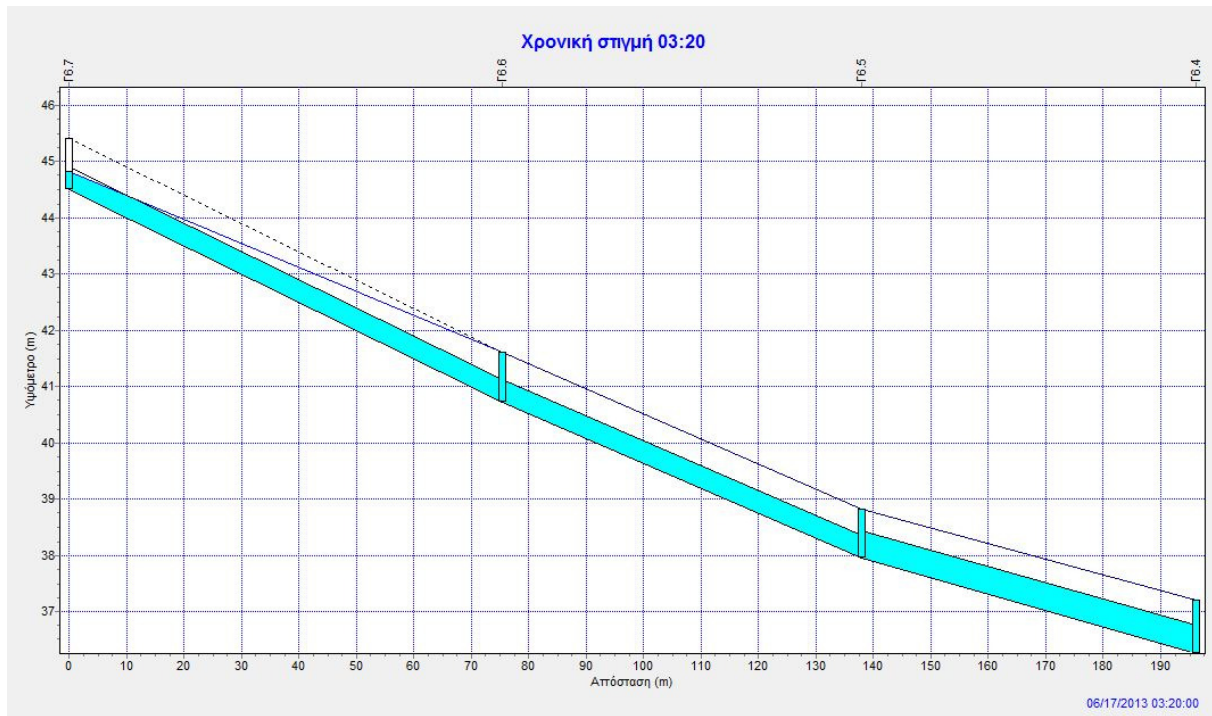


Σχήμα 5.47:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 03:00

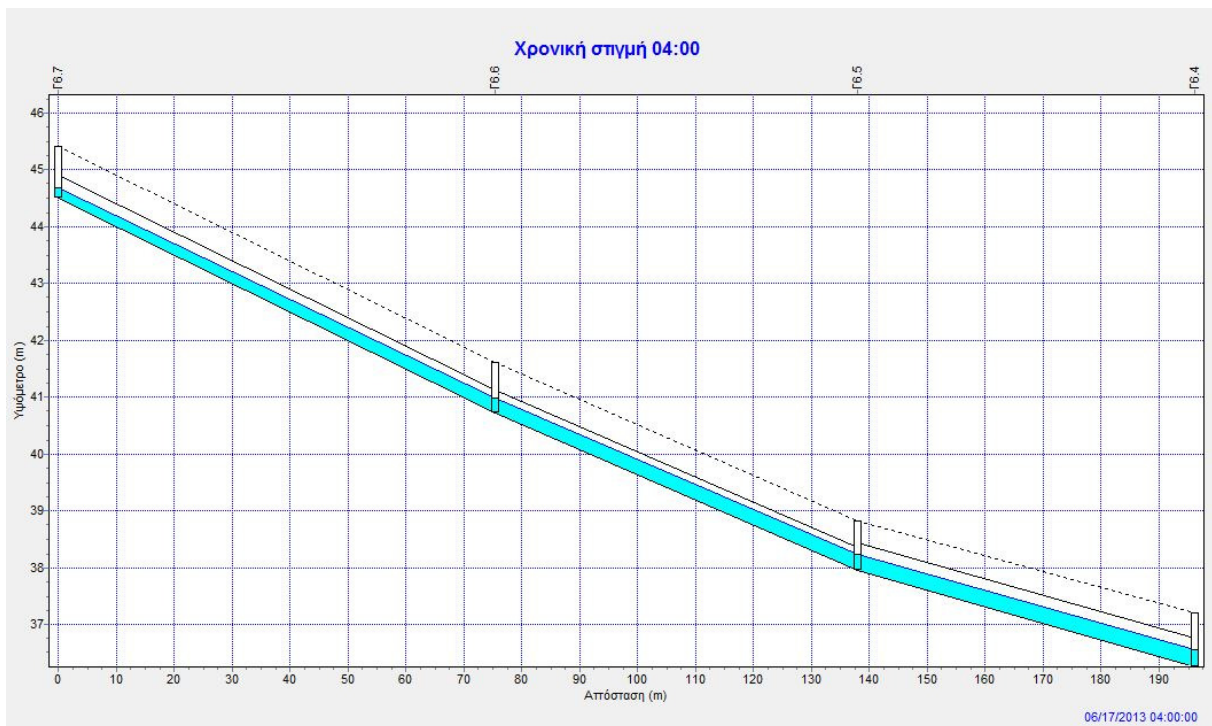


Σχήμα 5.48:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 03:10

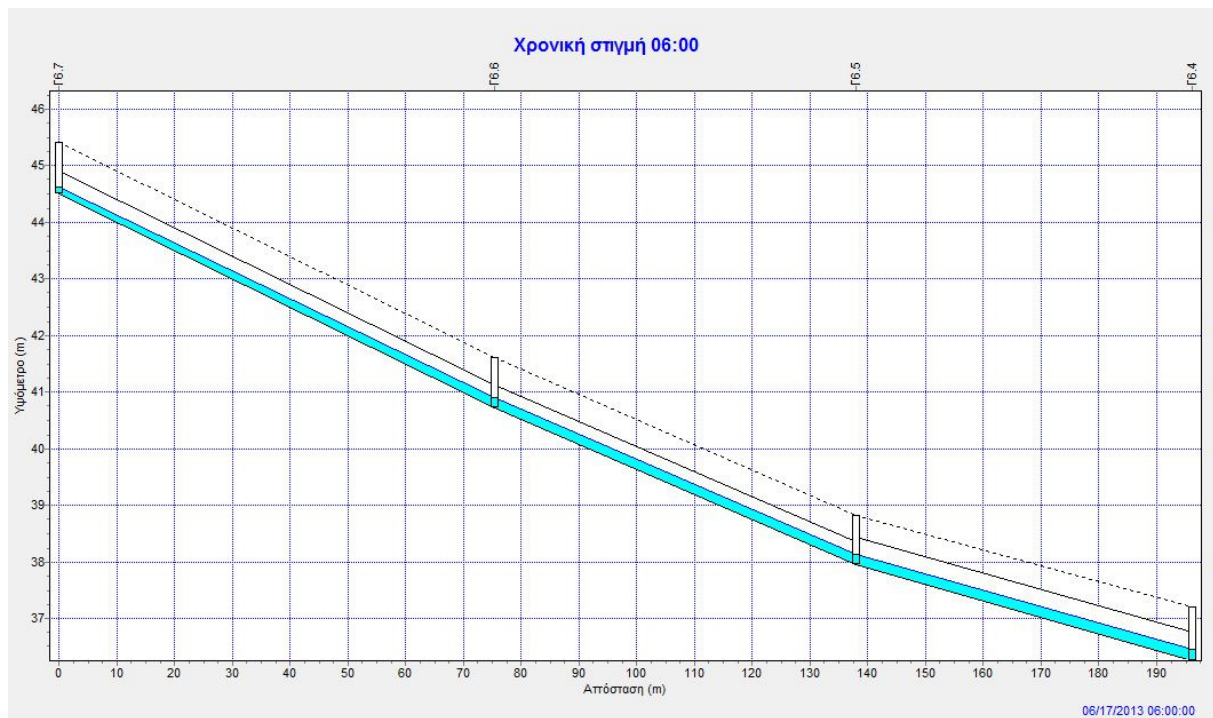




Σχήμα 5.49:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 03:20



Σχήμα 5.50:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 04:00



Σχήμα 5.51:Στάθμη νερού σε τμήμα αγωγού της οδού Προύσης τη χρονική στιγμή 06:00

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται ότι η στάθμη του νερού είναι αρκετά χαμηλή την πρώτη ώρα και αυξάνεται σταδιακά μέχρι την 3<sup>η</sup> ώρα, όπου λίγο μετά ξεκινάει το φαινόμενο της πλημμύρας. Τη στιγμή 03:10 υπερφορτίζονται και πλημμυρίζουν όλα τα φρεάτια, ενώ στη χρονική στιγμή 03:20 η στάθμη του νερού στο φρεάτιο Γ6.7 έχει κατέβει αισθητά, ενώ μικρή πτώση της στάθμης παρατηρείται και στο φρεάτιο Γ6.5. Τα φρεάτια Γ6.6, και Γ6.4, παραμένουν πλημμυρισμένα. Αυτό είναι και λογικό αφού σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1 το φρεάτιο Γ6.7 πλημμυρίζει για σχεδόν 1 λεπτό και το φρεάτιο Γ6.5 για περίπου 5 λεπτά, ενώ τα φρεάτια Γ6.6 και Γ6.4 πλημμυρίζουν αντίστοιχα για 30 λεπτά και 15 λεπτά. Στη συνέχεια, παρατηρείται πτώση της στάθμης, ενώ προς την 6<sup>η</sup> ώρα η στάθμη του νερού σταθεροποιείται σε χαμηλά επίπεδα. Αυτή η συμπεριφορά είναι λογική καθώς πλησιάζει το τέλος του πλημμυρικού φαινομένου.

### 5.3 Περίπτωση με το δυαδικό σύστημα

#### 5.3.1 Γενικά

Το δυαδικό σύστημα αποχέτευσης αποτελεί μία εξέλιξη του απλού αποχετευτικού δικτύου και με αυτό είναι δυνατή η πραγματοποίηση της υδραυλικής διόδευσης για οποιοδήποτε πλημμυρικό φαινόμενο, ανεξαρτήτως περιόδου επαναφοράς. Στο υποκεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί η υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος για περιόδους επαναφοράς 25 έως 10000 χρόνων. Συγκεκριμένα, θα μελετηθούν τα υδρογραφήματα απορροής στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος, για διάφορα  $T$  και παράλληλα θα απεικονισθούν αριθμητικά και γραφικά οι μεταβολές των διαφόρων μεγεθών σε επιλεγμένους αγωγούς και φρεάτια.

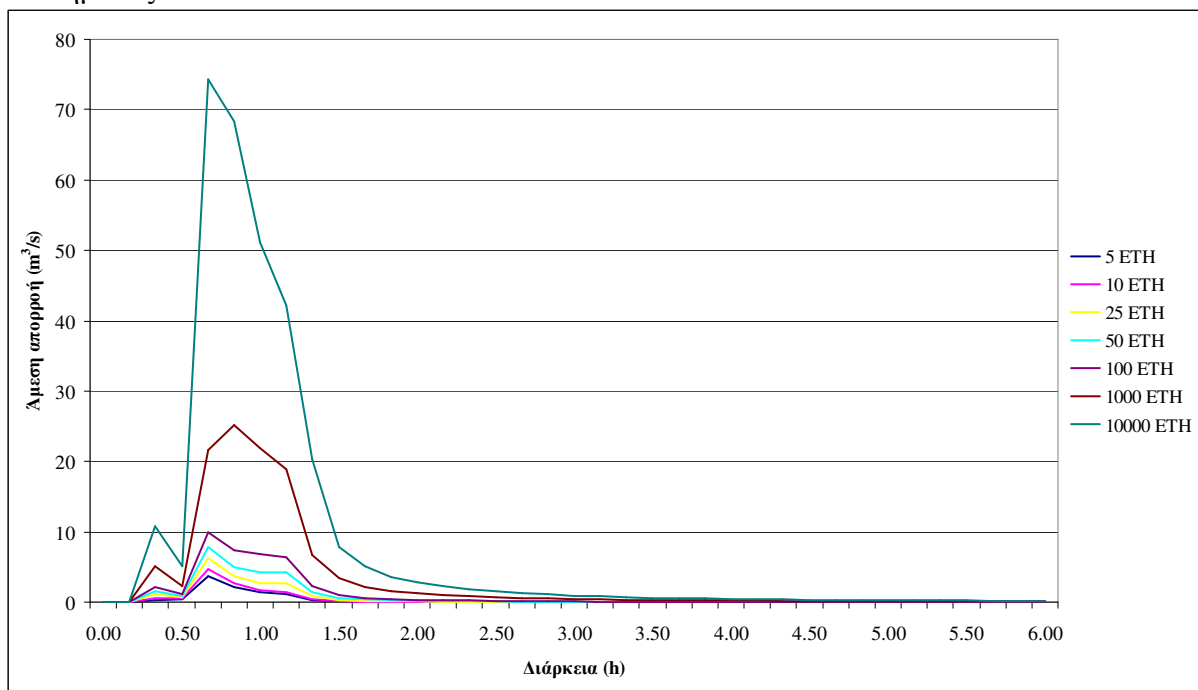
#### 5.3.2 Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο του αποχετευτικού συστήματος

Βασικός στόχος της μελέτης του αποχετευτικού συστήματος ομβρίων αποτελεί ο προσδιορισμός των παροχών στις εξόδους του συστήματος για διάφορα γεγονότα

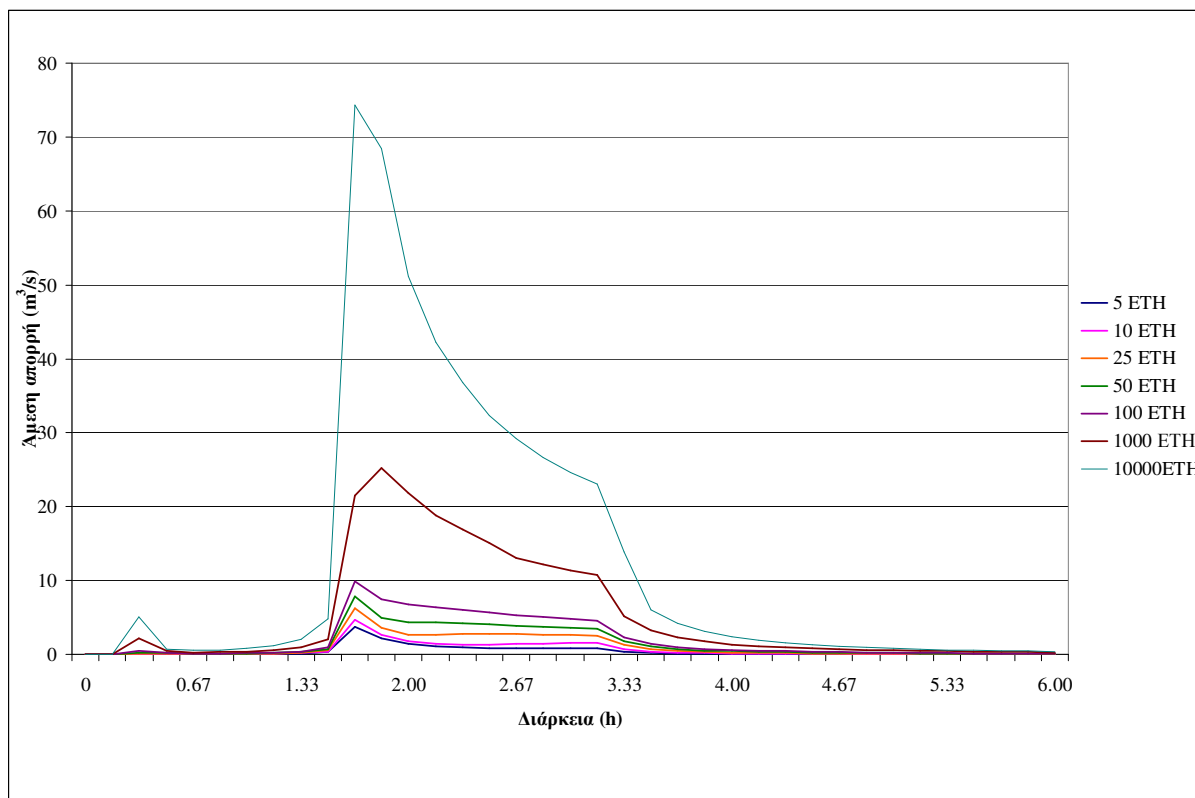
βροχόπτωσης σχεδιασμού. Οι παροχές αυτές αποτελούν το κύριο εξαγόμενο που προκύπτει από τη μοντελοποίηση του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο και αφού εισήχθησαν στο μοντέλο όλα τα υετογράμματα βροχοπτώσεων, διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς, εφαρμόστηκε διάδευση πλημμύρας και προσδιορίστηκαν τα υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο του δικτύου. Ενώ πρακτικά οι έξοδοι του δικτύου είναι πέντε (5), ουσιαστικά, έξοδο του δικτύου αποτελεί το ρέμα της Ραφήνας και για αυτό το λόγο προσδιορίστηκε η τελική παροχή σαν άθροισμα των επιμέρους παροχών.

Στα σχήματα που ακολουθούν, αναπαρίστανται τα υδρογραφήματα άμεσης απορροής για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 3, 6 και 12 ωρών. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των υδρογραφημάτων, παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες στο Παράρτημα 3.

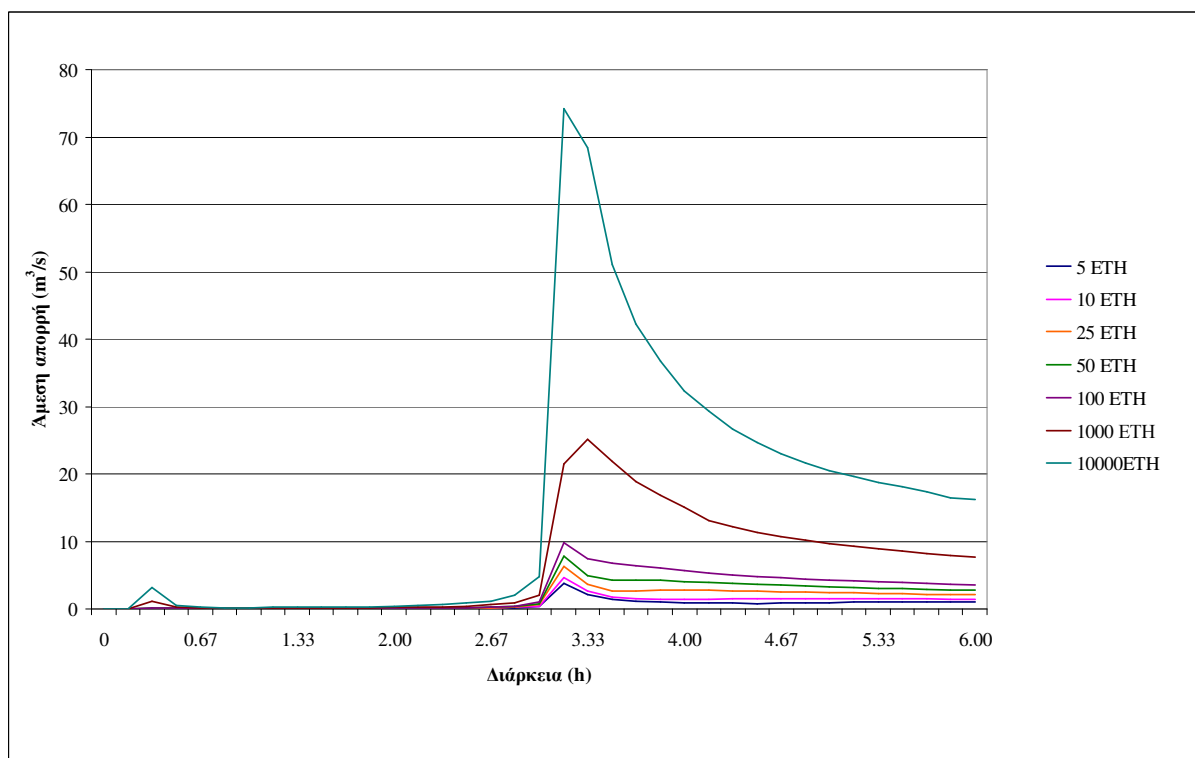
Κρίνεται σκόπιμο σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα συμβολίστηκαν οι υπόγειοι αγωγοί με την ονομασία της οδού στην οποία βρίσκονται και οι επιφανειακοί αγωγοί με την ίδια ονομασία και το γράμμα «S» μπροστά. Οι υπόγειοι αγωγοί βρίσκονται ακριβώς στην ίδια θέση με τους επιφανειακούς. Οι τιμές των μετατοπίσεων έχουν προσδιοριστεί στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Σημειώνεται σε αυτήν την περίπτωση ότι ενώ το σύστημα είναι δυαδικό (παράλληλοι αγωγοί) και υπάρχουν και οι δρόμοι ενδιάμεσα (επιφανειακοί αγωγοί), ωστόσο το πρόγραμμα απαιτεί την κατάληξη ενός μόνο αγωγού στο σημείο εκβολής. Για αυτό το λόγο, ενώ σύμφωνα με τη μελέτη το αποχετευτικό σύστημα τελειώνει στις αντίστοιχες εξόδους, θεωρήθηκε ως τελευταίο τμήμα ένας εικονικός αγωγός με το ίδιο μήκος, αλλά διπλάσια διατομή. Ουσιαστικά με την εισαγωγή του εικονικού αγωγού και τον διπλασιασμό της διατομής του, προσεγγίστηκε το δυαδικό σύστημα στο τμήμα που δεν επιτρέπεται η ταυτόχρονη λειτουργία του επιφανειακού και του υπόγειου αγωγού. Τέλος, ο τελευταίος βοηθητικός αγωγός αγνοείται, αφού αυτός προστέθηκε μόνο για την ορθή λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 5.52: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στο ρέμα της Ραφήνας για διάφορα  $T$  και  $t = 1$  h

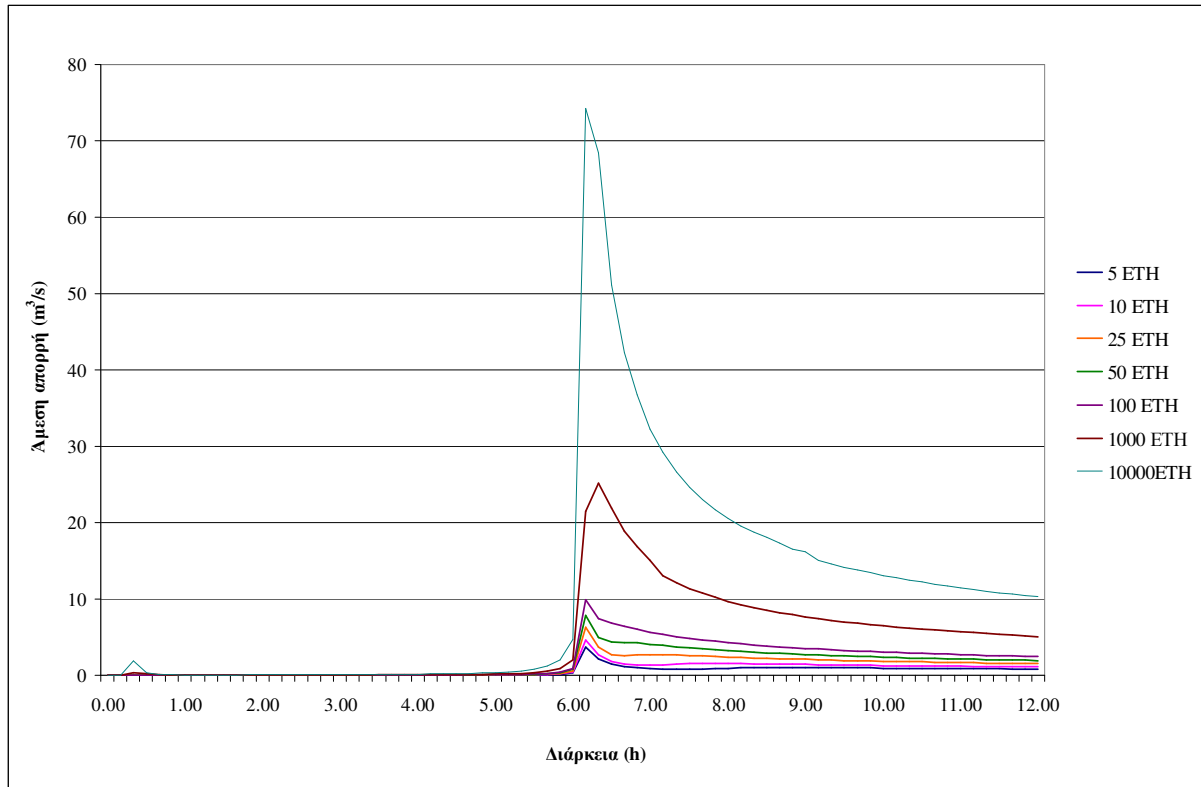


Σχήμα 5.53: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στο ρέμα της Ραφήνας για διάφορα  $T$  και  $t = 3$  h



Σχήμα 5.54: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στο ρέμα της Ραφήνας για διάφορα  $T$  και  $t = 6$  h





Σχήμα 5.55: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στο ρέμα της Ραφήνας για διάφορα  $T$  και  $t = 12$  h

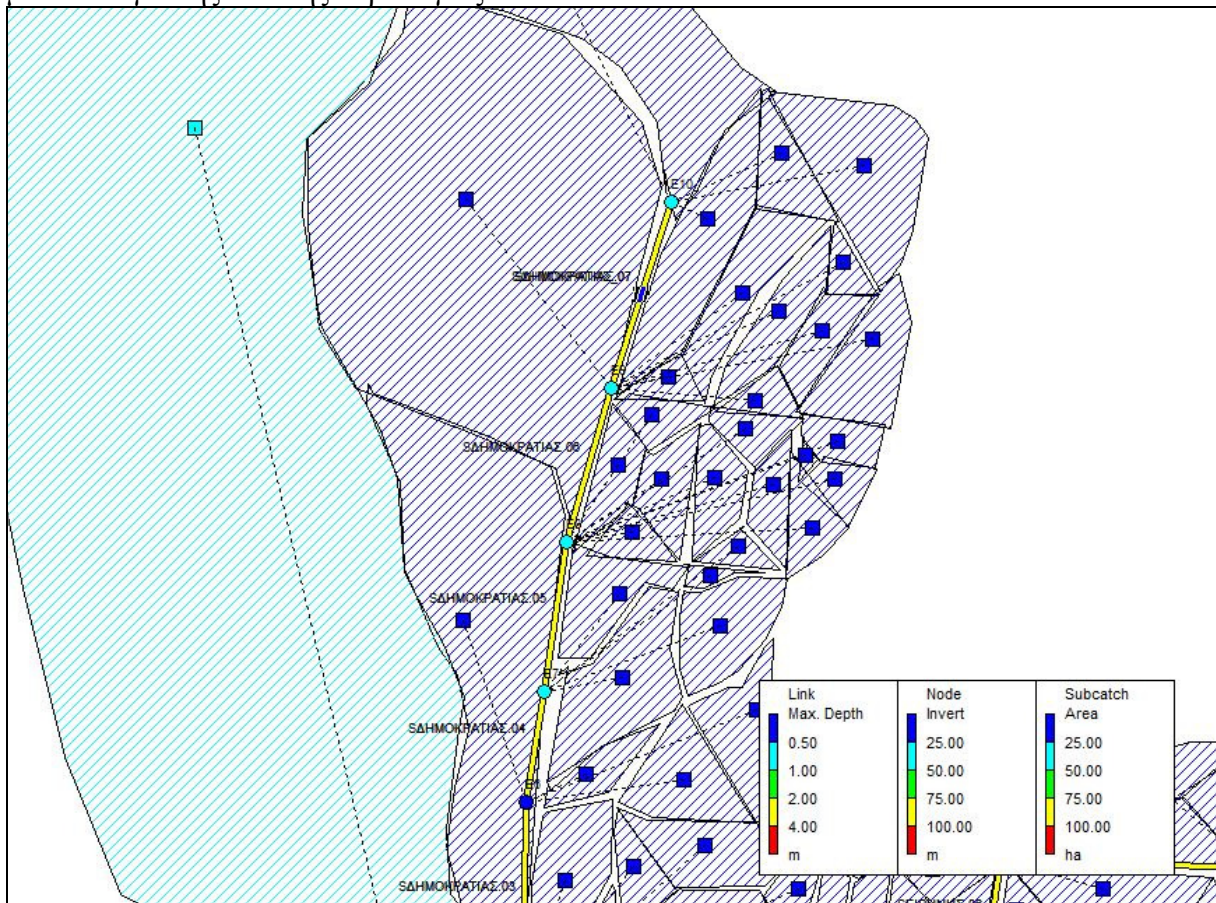
Μελετώντας τα παραπάνω υδρογραφήματα παρατηρείται ότι:

- Για βροχές διάρκειας 3 h, 6 h, και 12 h, η μέγιστη παροχή εμφανίζεται λίγο μετά από τη μέση των πλημμυρικών γεγονότων.
- Ύστερα από 1000 χρόνια για διάρκειες 1 έως και 12 ώρες, η μέγιστη παροχή απορροής είναι λίγο μεγαλύτερη από  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Όταν η περίοδος επαναφοράς είναι 10000 χρόνια, η παροχή αιχμής σχεδόν τριπλασιάζεται σε σχέση με τα 1000 χρόνια.
- Για  $T = 25$  και για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης η παροχή αιχμής είναι περίπου  $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Για διάρκεια  $t = 1$  h στο τέλος της  $1^{\text{ης}}$  ώρας η παροχή αρχίζει να μειώνεται δραματικά, ενώ για  $t = 6$  h και  $t = 12$  h για περιόδους επαναφοράς 1000 ετών και 10000 ετών, παρατηρείται ότι η παροχή μειώνεται, αλλά δεν πέφτει κάτω από  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  και  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  αντίστοιχα.

### 5.3.3 Προσδιορισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε επιλεγμένους αγωγούς για πλημμυρικό γεγονός 25 ετών

Στο σημείο αυτό θα μελετηθούν ενδεικτικά κάποιοι αγωγοί του αποχετευτικού συστήματος. Συγκεκριμένα θα μελετηθούν διάφορα υδραυλικά μεγέθη που συνδέονται με αυτούς και θα μελετηθεί πώς αυτά τα μεγέθη μεταβάλλονται με το χρόνο για  $T = 25$  έτη. Το λογισμικό SWMM έχει την δυνατότητα να παράγει διαγράμματα μετά από κάθε τρέξιμο των διαφόρων γεγονότων βροχόπτωσης. Αρχικά θα μελετηθεί ένα τμήμα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας

για βροχή διάρκειας 6 h. Ο αγωγός αυτός αποτελείται από 7 επιμέρους τμήματα. Τα τμήματα που θα μελετηθούν είναι τα τέσσερα πρώτα. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι αγωγοί με κίτρινο χρώμα λόγω της διαμέτρου των αγωγών. Οι αγωγοί συνδέονται με κόμβους που ουσιαστικά αναπαριστούν τα φρεάτια του αποχετευτικού συστήματος. Πάνω από κάθε κόμβο παρουσιάζεται και το όνομά του. Το χρώμα του κάθε φρεατίου ανταποκρίνεται στο υψόμετρο του πυθμένα του. Σημειώνεται ότι στους κόμβους του συγκεκριμένου τμήματος αποχετεύονται τόσο κάποια τμήματα της αστικής λεκάνης της Ραφήνας όσο και της περιαστικής λεκάνης, αφού η οδός Δημοκρατίας αποτελεί ουσιαστικά το νοητό όριο των περιοχών αυτών. Παρόλα αυτά, επειδή δεν έχει οικοδομηθεί όλη αυτή η περιοχή, κάποιες λεκάνες ορίστηκαν σύμφωνα με τον υδροκρίτη τους και όχι σύμφωνα με τη μεθοδολογία της αστικής υδρολογίας.



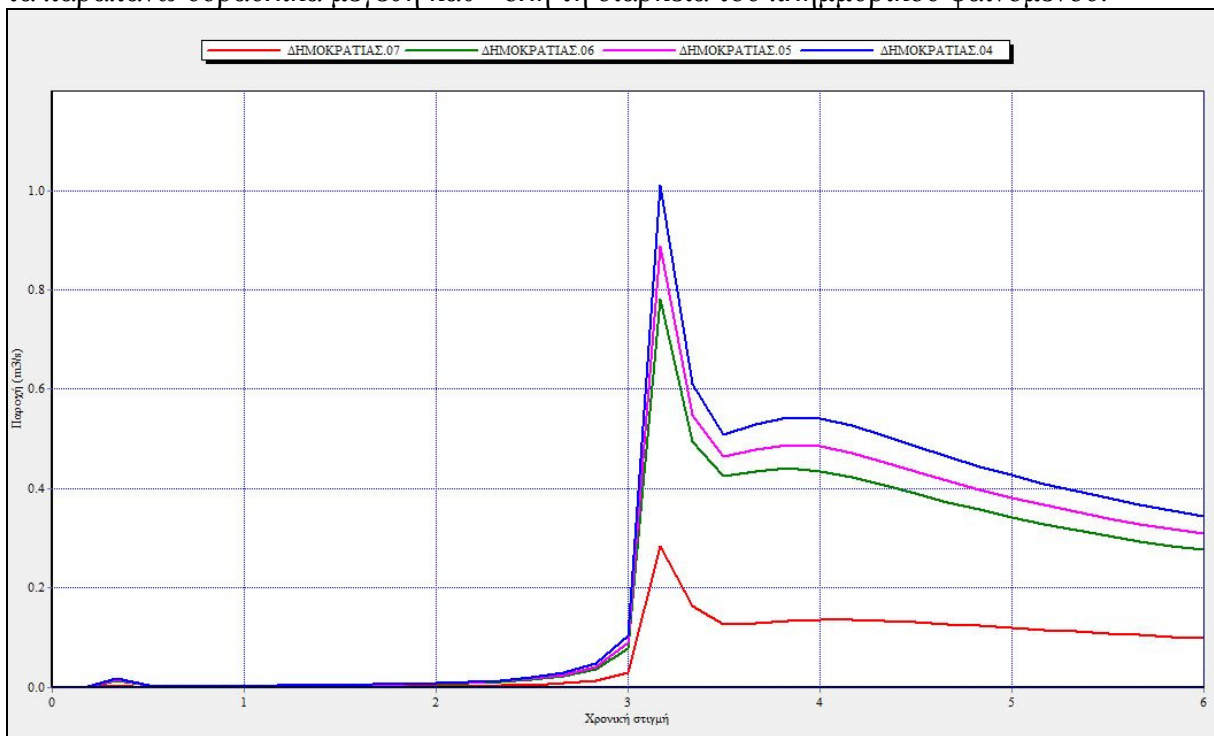
Σχήμα 5.56: Αναπαράσταση τμήματος του αγωγού της οδού Δημοκρατίας

Το τμήμα της οδού Δημοκρατίας αποτελείται από τους αγωγούς ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_07, ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_06, ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_05, ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_04, που οδηγεί το συνολικό όγκο του νερού στην Έξοδο\_Ε στο ρέμα της Ραφήνας. Στον Πίνακα 5.3 φαίνονται οι παροχές αιχμής, η χρονική στιγμή εμφάνισής τους, οι μέγιστες ταχύτητες και το μέγιστο ποσοστό πλήρωσης για τα τμήματα αυτά.

Πίνακας 5.3: Υδραυλικά μεγέθη του αγωγού της οδού Δημοκρατίας τη χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας, γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών.

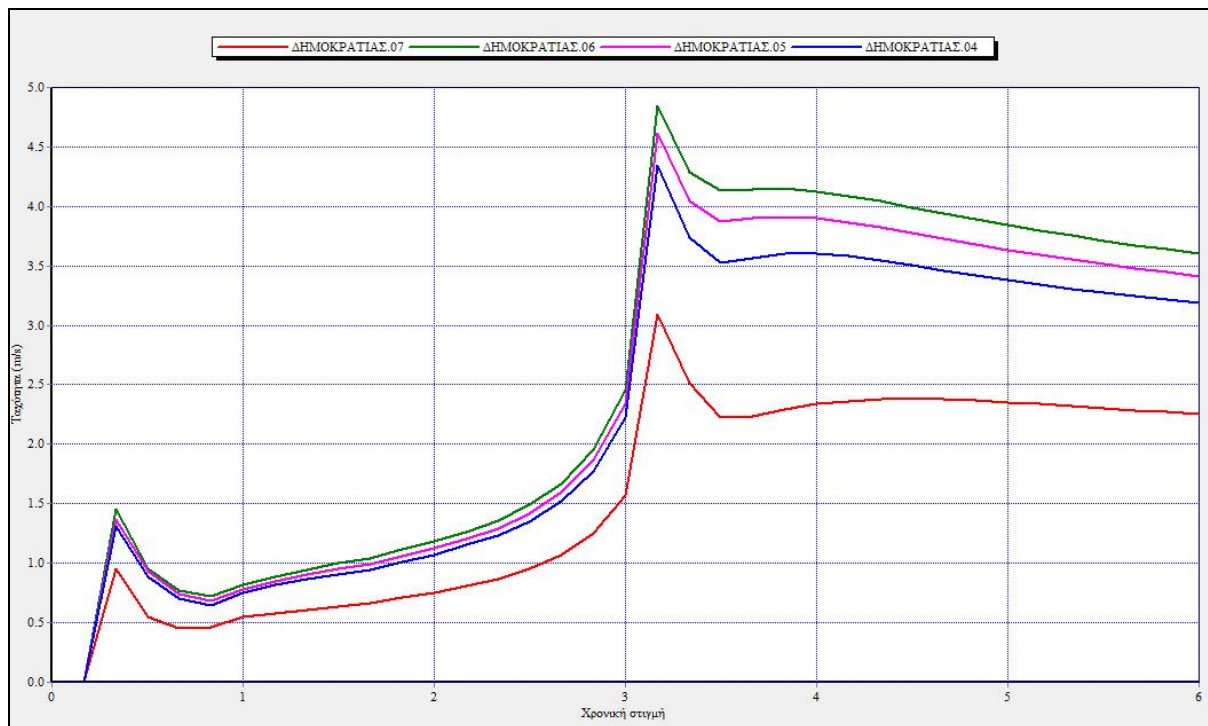
Τμήμα αγωγού	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	Χρονική στιγμή εμφάνισης αιχμής (h:min)	Μέγιστη ταχύτητα (m/s)	Μέγιστο ποσοστό πλήρωσης
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_07	0.285	3:10	3.10	0.36
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_06	0.781	3:10	4.84	0.36
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_05	0.888	3:10	4.61	0.34
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ_04	1.011	3:10	4.34	0.34

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 3:10, ενώ οι μέγιστες ταχύτητες δεν ξεπερνούν τα 4.84 m/s. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα τμήματα αυτά δεν παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό πλήρωσης για αυτήν την περίοδο επαναφοράς. Τα σχήματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια, παράγονται απευθείας από το πρόγραμμα ύστερα από κάθε τρέξιμο της εφαρμογής και παρουσιάζεται πώς μεταβάλλονται τα παραπάνω υδραυλικά μεγέθη καθ' όλη τη διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου.

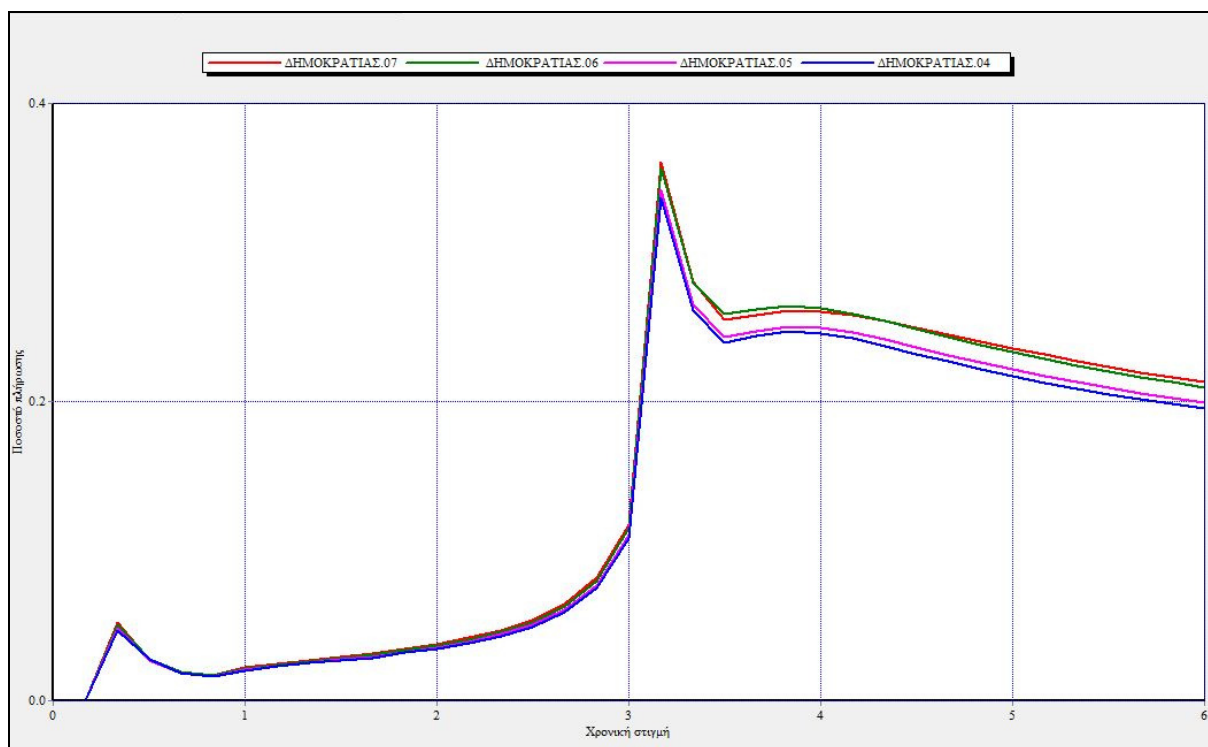


Σχήμα 5.57: Μεταβολή παροχών σε τμήματα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας για γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών

Στο Σχήμα 5.57 παρατηρείται ότι καθ' όλη τη διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου οι παροχές του τμήματος ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_04 είναι μεγαλύτερες από τις παροχές των ανάντη τμημάτων του αγωγού. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αγωγός ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_04 αποτελεί το τμήμα του αγωγού που συγκεντρώνει τα νερά που προέρχονται από ανάντη.



Σχήμα 5.58: Μεταβολή ταχυτήτων σε τμήματα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας για γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών



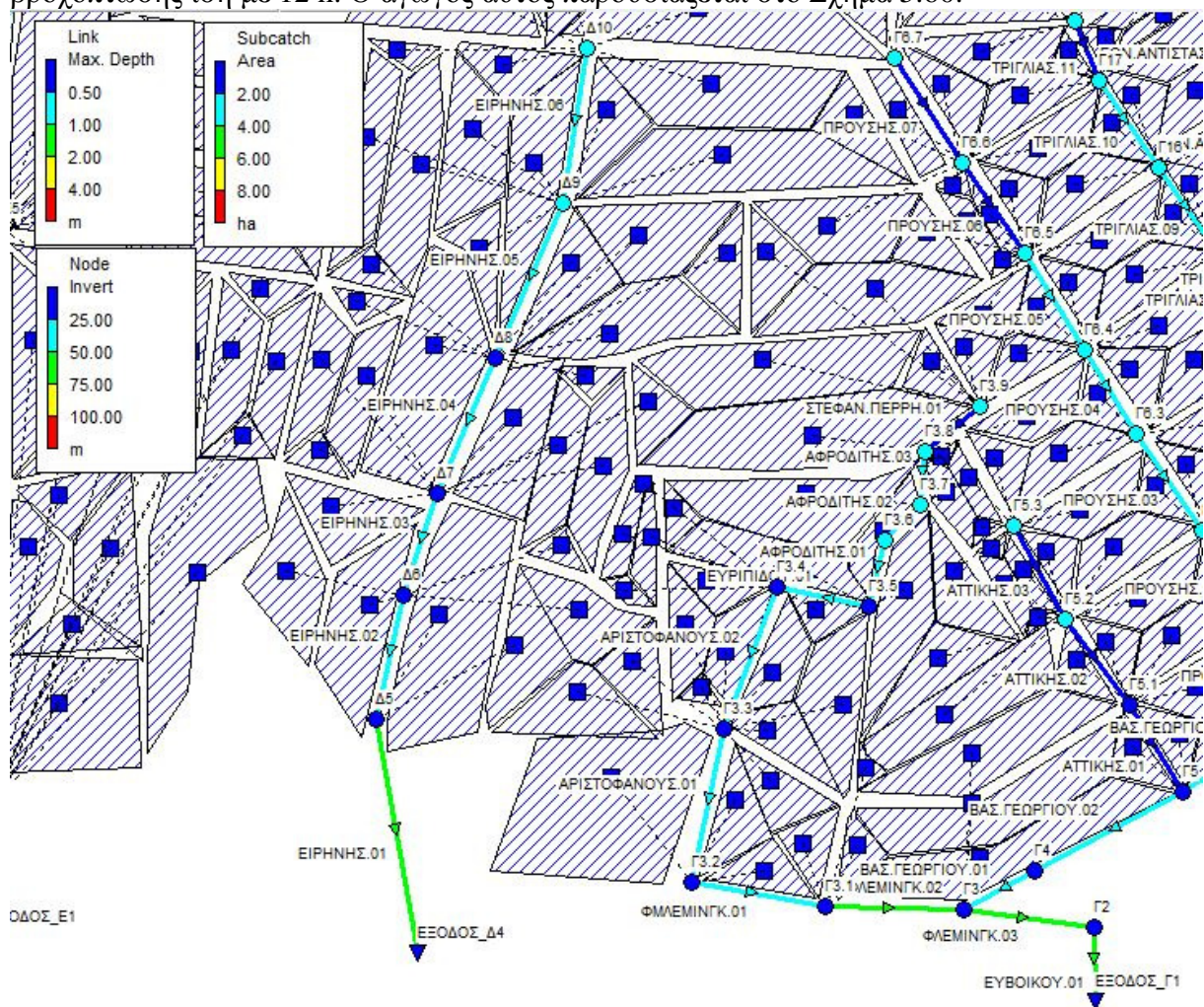
Σχήμα 5.59: Μεταβολή του ποσοστού πλήρωσης σε τμήματα του αγωγού της οδού Δημοκρατίας για γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών

Παρόλο που ο αγωγός ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_04 συγκριτικά με τους υπόλοιπους αγωγούς εμφανίζει τις μεγαλύτερες παροχές, δεν εμφανίζει και τις μεγαλύτερες ταχύτητες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.58. Τη μεγαλύτερη ταχύτητα έχει ο αγωγός ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_06 ο



οποίος παρουσιάζει αντίστοιχα και το μεγαλύτερο ποσοστό πλήρωσης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.59 ενώ δεν παρουσιάζει τη μεγαλύτερη παροχή. Επίσης παρατηρείται ότι ο αγωγός ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ\_07 παρουσιάζει τη μικρότερη παροχή και τη μικρότερη ταχύτητα, όμως έχει το μεγαλύτερο ποσοστό πλήρωσης. Επίσης, παρατηρείται ότι όλοι οι αγωγοί λίγο πριν από την 3<sup>η</sup> ώρα εμφανίζουν ποσοστά πλήρωσης κάτω από 0.2, ενώ μεταξύ 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> ώρας τα ποσοστά αυτά αυξάνονται και πλησιάζουν το 0.4. Μετά την 4<sup>η</sup> ώρα, το ποσοστό πλήρωσης για όλους τους αγωγούς τείνει στο 0.2. Επίσης, στο Σχήμα 5.59 παρατηρείται ότι στην αρχή του φαινομένου οι γραμμές ταυτίζονται και αυτό εξηγείται γιατί οι αγωγοί εμφανίζουν ίδιο ποσοστό πλήρωσης. Ομοίως και κατά τη διάρκεια της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> ώρας ταυτίζονται η μπλε και η ροζ γραμμή και αντίστοιχα η πράσινη και η πορτοκαλί. Αυτό εξηγείται γιατί στο διάστημα αυτό, οι αγωγοί παρουσιάζουν ίδιο ποσοστό πλήρωσης.

Στη συνέχεια, θα μελετηθεί η μεταβολή κάποιων υδραυλικών μεγεθών σε ένα ακόμη αγωγό, αυτόν της οδού Ειρήνης, όμως αυτή τη φορά θα μελετηθεί για μεγαλύτερη διάρκεια βροχόπτωσης ίση με 12 h. Ο αγωγός αυτός παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.60.



Σχήμα 5.60: Αναπαράσταση του αγωγού της οδού Ειρήνης

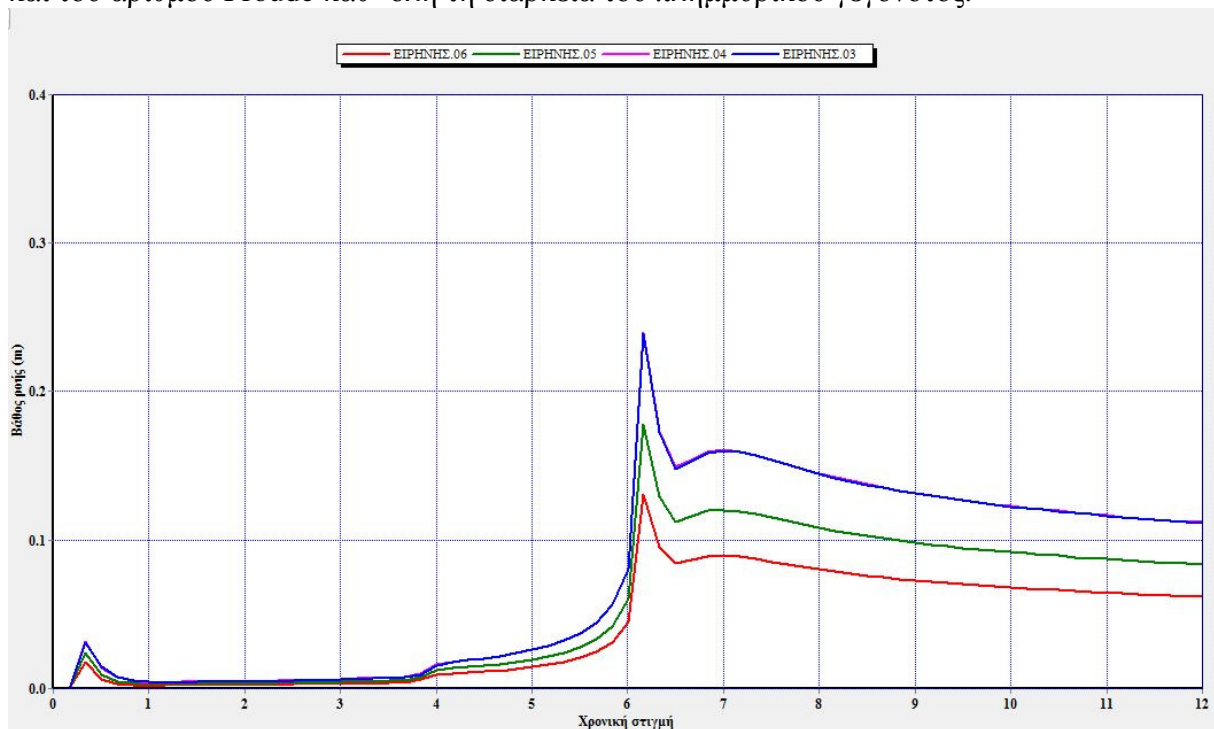
Ο αγωγός της οδού Ειρήνης αποτελείται από 6 τμήματα τα οποία καταλήγουν σε μία ακόμη έξοδο στο ρέμα της Ραφήνας. Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται οι παροχές αιχμής, η χρονικής

στιγμή εμφάνισής τους και οι μέγιστες ταχύτητες για τον αγωγό της οδού Ειρήνης για  $T = 25$  έτη και  $t = 12$  h.

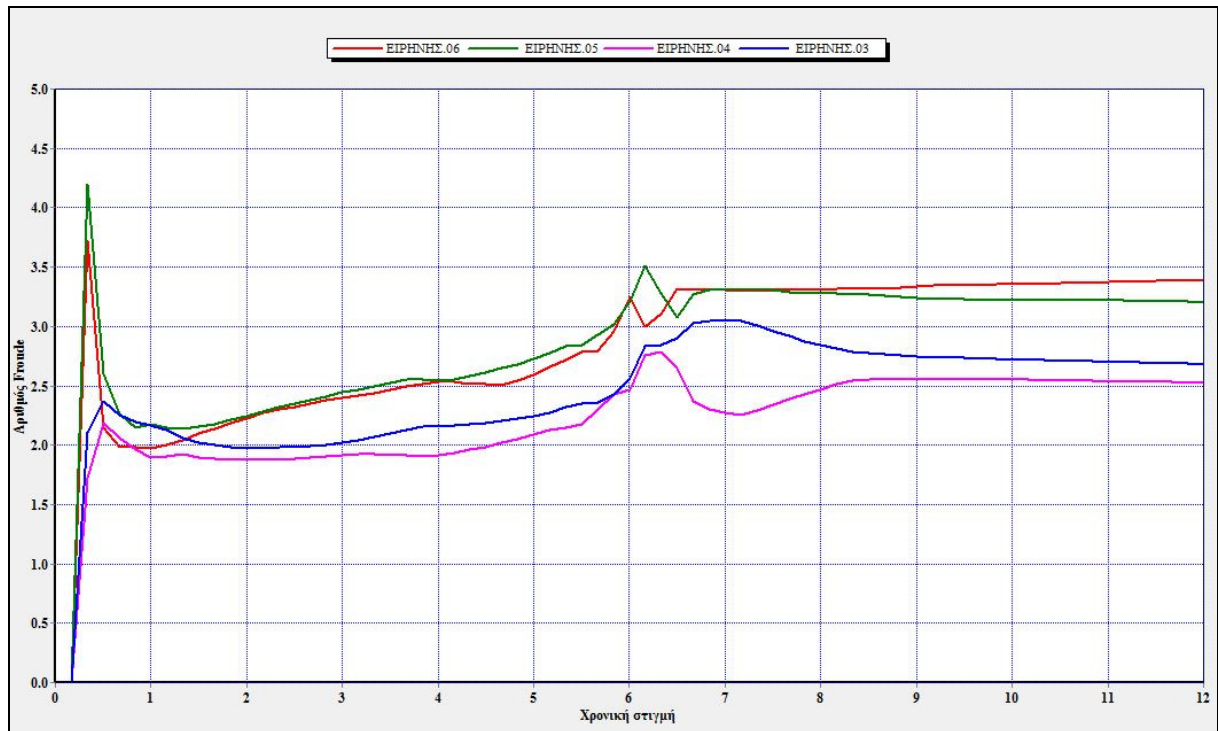
Πίνακας 5.4: Υδραυλικά μεγέθη του αγωγού της οδού Ειρήνης τη χρονική στιγμή της αιχμής του γεγονότος

Τμήμα αγωγού	$Q_{\max}$ ( $m^3/s$ )	Χρονική στιγμή εμφάνισης αιχμής (h:min)	Μέγιστη ταχύτητα (m/s)	Μέγιστο ποσοστό πλήρωσης
EIPHNHS_06	0.128	06:09	3.13	0.09
EIPHNHS_05	0.272	06:09	3.88	0.16
EIPHNHS_04	0.390	06:09	3.34	0.17
EIPHNHS_03	0.490	06:09	3.89	0.26

Στον παραπάνω Πίνακα 5.4 παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 06:09, ενώ η μέγιστη ταχύτητα στον αγωγό φτάνει τα 3.89 m/s στο τμήμα EIPHNHS\_03. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό πλήρωσης είναι 0.26 και παρουσιάζεται στον αγωγό EIPHNHS\_03. Τα μικρά αυτά ποσοστά πλήρωσης είναι λογικά, καθώς ο αγωγός στην οδό Ειρήνης δέχεται τις απορροές λεκανών με μικρή έκταση. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το πρόγραμμα εξάγει τα παρακάτω διαγράμματα μεταβολής του βάθους ροής και του αριθμού Froude καθ' όλη τη διάρκεια του πλημμυρικού γεγονότος.



Σχήμα 5.61: Μεταβολή του βάθους ροής σε τμήματα του αγωγού της οδού Ειρήνης, για γεγονός βροχόπτωσης 12 ωρών.



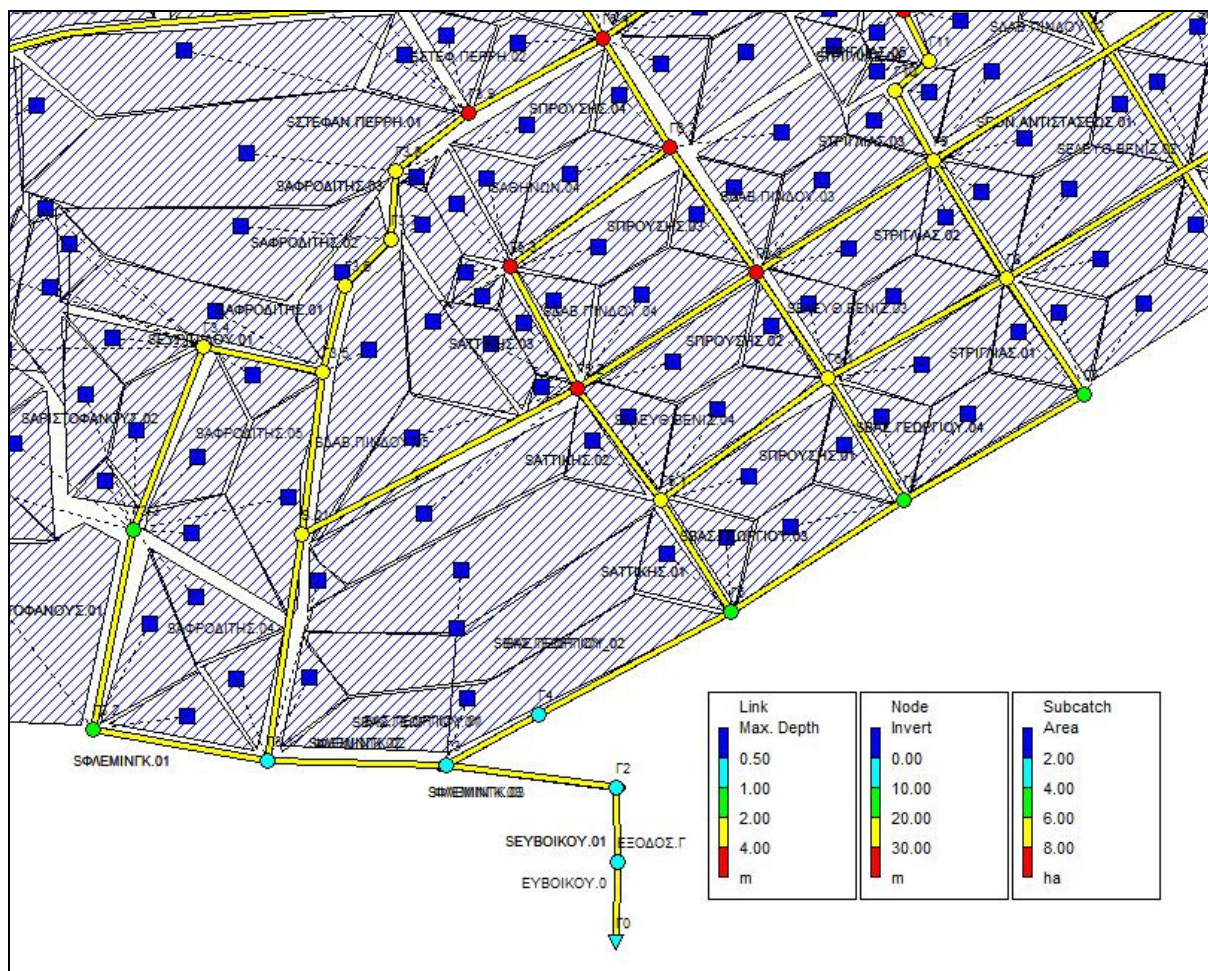
Σχήμα 5.62: Μεταβολή του αριθμού Froude σε τμήματα του αγωγού της οδού Ειρήνης, για γεγονός βροχόπτωσης 12 ωρών.

Στο Σχήμα 5.61 παρατηρείται ότι το βάθος ροής στον αγωγό EIPHNHS\_03 είναι μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα βάθη στους ανάντη αγωγούς κατά τη διάρκεια του φαινομένου. Αυτό είναι λογικό καθώς το βάθος ροής έχει άμεση σχέση με την παροχή  $Q$ , που στο τελευταίο αυτό τμήμα του αγωγού φαίνεται να είναι αυξημένη, καθώς εκεί συγκεντρώνεται ο συνολικός όγκος του νερού. Ακόμη, παρατηρείται ότι  $Fr > 1$  σε όλη τη διάρκεια του φαινομένου, για τα 4 αυτά τμήματα που παρουσιάστηκαν, που σημαίνει ότι η ροή είναι υπερκρίσιμη.

### 5.3.4 Προσδιορισμός πλημμυρικών φαινομένων διαφόρων περιόδων επαναφοράς στο τμήμα της οδού Φλέμιγκ

Στο σημείο αυτό θα μελετηθεί ο τρόπος λειτουργίας του δυαδικού συστήματος αποχέτευσης στο τμήμα της οδού Φλέμιγκ και καταλήγει στο ρέμα της Ραφήνας μέσω του αγωγού στην οδό Ευβοϊκού. Το τμήμα αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5.63.





Σχήμα 5.63: Αναπαράσταση τμήματος του αγωγού στην οδό Βασιλέως Γεωργίου.

Σημειώνεται στο πρόγραμμα συμβολίστηκαν οι υπόγειοι αγωγοί με την ονομασία της οδού στην οποία βρίσκονται και οι επιφανειακοί αγωγοί με την ίδια ονομασία και το γράμμα S μπροστά, όπως εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 5.3.2. Οι υπόγειοι αγωγοί βρίσκονται ακριβώς στην ίδια θέση με τους επιφανειακούς, όμως το πρόγραμμα απεικονίζει μόνο τους επιφανειακούς αγωγούς. Επειδή το πρόγραμμα απαιτεί την κατάληξη ενός μόνο αγωγού στο σημείο εκβολής, για αυτό το λόγο, ενώ σύμφωνα με τη μελέτη το αποχετευτικό σύστημα τελειώνει στις αντίστοιχες εξόδους, θεωρήθηκε ως τελευταίο τμήμα ένας εικονικός αγωγός με το ίδιο μήκος, αλλά διπλάσια διατομή. Ουσιαστικά με την εισαγωγή του εικονικού αγωγού και τον διπλασιασμό της διατομής του, προσεγγίστηκε το δυαδικό σύστημα στο τμήμα που δεν επιτρέπεται η ταυτόχρονη λειτουργία του επιφανειακού και του υπόγειου αγωγού. Για αυτό το λόγο, η έξοδος που θα μελετηθεί είναι η ΕΞΟΔΟΣ\_Γ, αγνοώντας την έξοδο Γ0 που έχει προστεθεί στο τμήμα αυτό για την καλύτερη προσέγγιση του δυαδικού συστήματος.

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί η υδραυλική αλληλεπίδραση τόσο των υπόγειων όσο και των επιφανειακών αγωγών με την πάροδο των χρόνων. Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα διάφορα υδραυλικά μεγέθη σε αγωγούς της οδού Φλέμινγκ, όπως αυτά μεταβάλλονται με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς, για γεγονός βροχόπτωσης 12 ωρών.



Πίνακας 5.5: Υδραυλικά μεγέθη σε τμήμα του αγωγού της οδού Φλέμινγκ για διάφορα  $T$ , κατά την αιχμή πλημμυρικού γεγονότος διάρκειας 12 h.

$T$ (έτη)	Αγωγός	Παροχή ( $m^3/s$ )	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
25	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.409	2.70	06:10	0.34
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.422	1.49	06:10	0.40
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	1.347	3.81	06:10	0.40
	ΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	1.347	6.37	06:10	0.27
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	0.000	0.00	00:00	0.00
$T$ (έτη)	Αγωγός	Παροχή ( $m^3/s$ )	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
50	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.514	2.89	06:10	0.38
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.530	1.62	06:10	0.45
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	1.668	4.04	06:10	0.45
	ΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	1.668	6.79	06:10	0.31
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	0.000	0.00	00:00	0.00
$T$ (έτη)	Αγωγός	Παροχή ( $m^3/s$ )	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
100	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.661	3.09	06:10	0.44
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.670	1.74	06:10	0.51
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	2.071	4.27	06:10	0.51
	ΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	2.071	7.23	06:10	0.34
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	0.000	0.00	00:00	0.00
	ΣΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	0.000	0.00	00:00	0.00

Πίνακας 5.5: Υδραυλικά μεγέθη σε τμήμα του αγωγού της οδού Φλέμινγκ για διάφορα  $T$ , κατά την αιχμή πλημμυρικού γεγονότος διάρκειας 12 h (συνέχεια).

$T$ (έτη)	Αγωγός	Παροχή ( $m^3/s$ )	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
1000	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	1.606	3.68	06:09	1.00
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	1.868	2.38	06:12	1.00
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	4.019	4.85	06:21	0.88
	ΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	5.780	9.46	06:21	0.61
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	0.387	1.18	06:11	0.04
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	0.072	0.18	06:21	0.04
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	1.762	2.44	06:21	0.06
	ΣΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	0.000	0.00	00:00	0.00
$T$ (έτη)	Αγωγός	Παροχή ( $m^3/s$ )	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
10000	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	2.015	4.01	06:02	1.00
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	2.013	2.56	06:05	1.00
	ΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	4.083	4.85	06:06	1.00
	ΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	7.325	9.68	06:11	0.90
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_01	5.043	2.46	06:10	0.12
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_02	5.118	2.00	06:10	0.14
	ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ_03	12.743	4.50	06:10	0.15
	ΣΕΥΒΟΙΚΟΥ_01	8.897	5.95	06:11	0.10

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής:

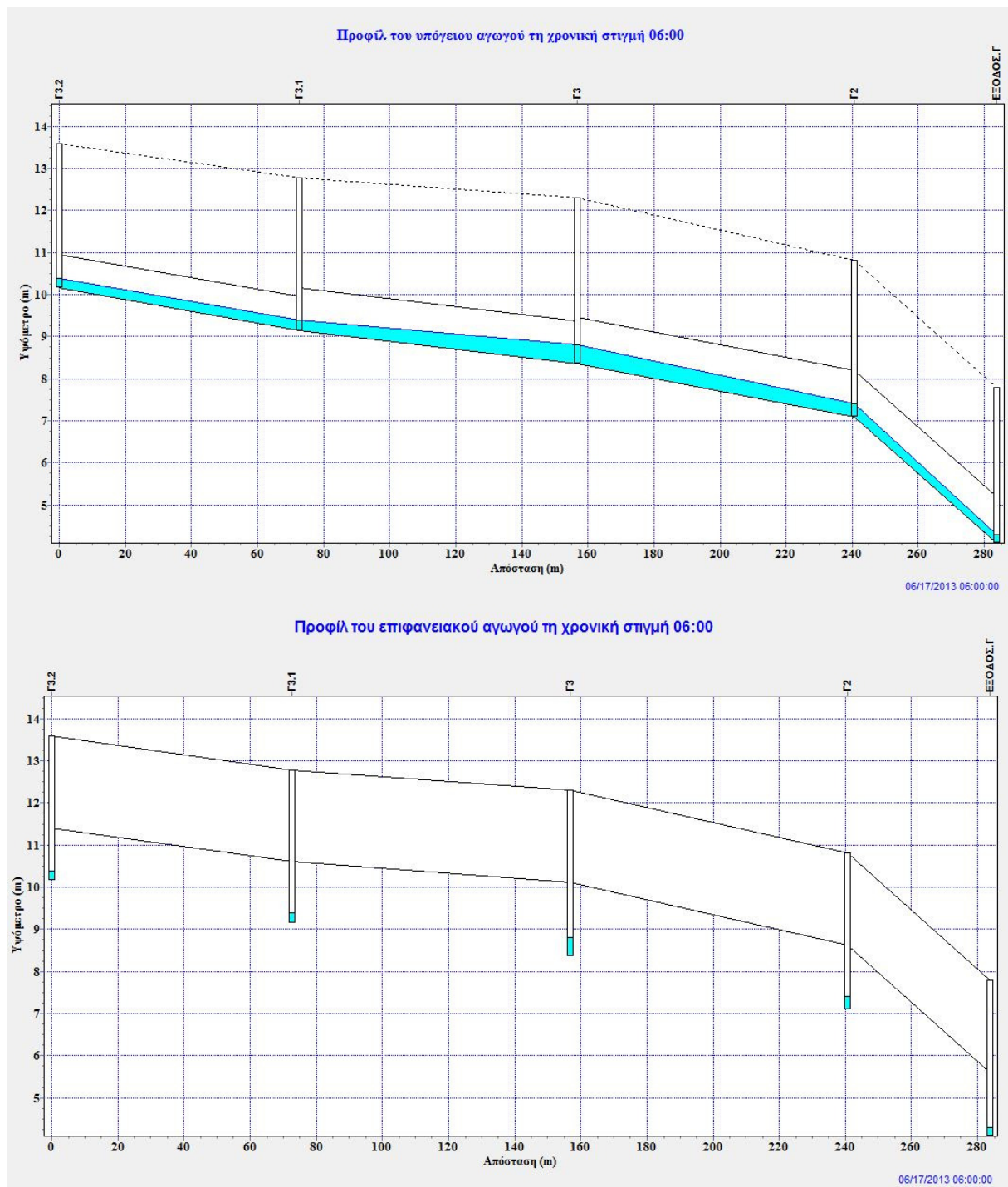
- Για περιόδους επαναφοράς  $T = 25, 50$  και  $100$  χρόνια λειτουργεί μόνο το υπόγειο δίκτυο και, όπως φαίνεται, οι αγωγοί έχουν ποσοστό πλήρωσης σχεδόν 50%. Συγκεκριμένα, για  $T = 25$  έτη, η αιχμή της πλημμύρας εμφανίζεται τη στιγμή 06:10, ενώ οι αγωγοί παρουσιάζουν μικρό ποσοστό πλήρωσης. Για περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  έτη η αιχμή της πλημμύρας εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 06:10, ενώ τα ποσοστά πλήρωσης των αγωγών έχουν αλλάξει ελάχιστα.
- Όσον αφορά στις τιμές των ταχυτήτων μετά από βροχή σχεδιασμού 25 και 50 ετών είναι παραπλήσιες και κυμαίνονται από 1.49 έως 6.79 m/s. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα ροής στον αγωγό ΕΥΒΟΙΚΟΥ\_01 ξεπερνάει τα 6 m/s τόσο για τα 25 έτη όσο και για τα 50, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα σύμφωνα με τις προδιαγραφές αποχέτευσης ομβρίων είναι 6 m/s. Επειδή δε διευκρινίζεται στη μελέτη με ποια όμβρια καμπύλη προέκυψαν οι διάμετροι των αγωγών αυτών, τότε προκειμένου να είναι ορθή η διαστασιολόγηση, σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή, θα έπρεπε στο συγκεκριμένο τμήμα να αυξηθεί η διάμετρος του αγωγού.
- Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι για περίοδο επαναφοράς  $T = 100$  τα ποσοστά πλήρωσης των αγωγών είναι σχετικά χαμηλά. Αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στην

όμβρια καμπύλη που επιλέχθηκε για να μελετηθεί η περιοχή, όσο και στην υπερδιαστασιολόγηση του δικτύου που ενδεχομένως να έγινε, αφού η Ραφήνα αποτελεί μία αναπτυσσόμενη οικιστικά πόλη.

- Για  $T = 1000$  έτη παρατηρείται ότι ξεκινάει και η λειτουργία του επιφανειακού αποχετευτικού συστήματος, που σημαίνει ότι το νερό έφτασε στο επίπεδο του δρόμου. Ο αγωγός ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ\_03 παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό πλήρωσης 0.06. το οποίο είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Παρατηρείται επίσης ότι ο αγωγός ΕΥΒΟΙΚΟΥ\_01 δεν έχει φτάσει ακόμη στο μέγιστο ποσοστό πλήρωσης. Επίσης παρατηρείται ότι η μέγιστη παροχή εμφανίζεται στον αγωγό ΣΦΛΕΜΙΝΓΚ\_03 τη χρονική στιγμή 06:21.
- Οι τιμές των μέγιστων ταχυτήτων για  $T = 1000$  κυμαίνονται από 2.38 έως 9.46 m/s στο υπόγειο δίκτυο. Ενώ στο επιφανειακό δίκτυο η μέγιστη τιμή της ταχύτητας είναι 2.44 m/s.
- Μετά από πλημμυρικό γεγονός  $T = 10000$  έτη παρατηρείται ότι τα ποσοστά πλήρωσης σχεδόν για όλους τους αγωγούς πλησιάζουν τη μονάδα και αντίστοιχα όλοι οι επιφανειακοί αγωγοί λειτουργούν. Παρόλα αυτά, κατά την αιχμή της πλημμύρας οι επιφανειακοί αγωγοί γεμίζουν κατά ποσοστό 10%-15%.
- Οι μέγιστες ταχύτητες του νερού στους επιφανειακούς αγωγούς κυμαίνονται από 2.00 m/s έως σχεδόν 6.00 m/s για περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη. Οι ταχύτητες αυτές παρουσιάζουν σχετική ανομοιομορφία από τα 1000 στα 10000 έτη, σε σχέση με αυτές των υπόγειων αγωγών, οι οποίες παρουσιάζουν μία σχετική ομοιομορφία.

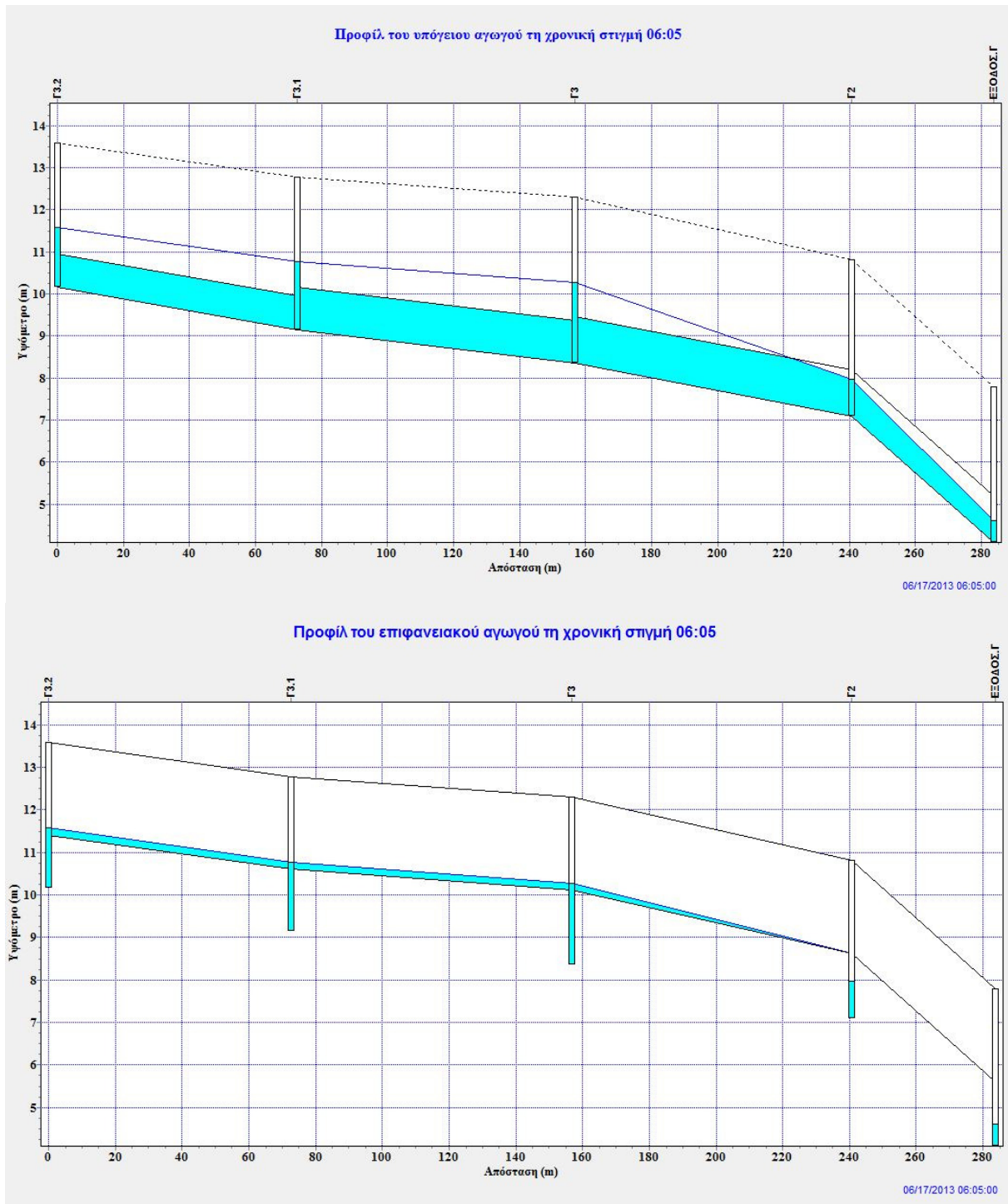
Στη συνέχεια, προκειμένου να κατανοηθεί η λειτουργία του δικτύου παρατίθενται τα προφίλ των αγωγών του δυαδικού συστήματος αποχέτευσης, σε διάφορες χρονικές στιγμές και διάφορες περιόδους επαναφοράς κοντά στην αιχμή των γεγονότων.

Στα παρακάτω σχήματα αναπαρίσταται το δυαδικό σύστημα αποχέτευσης στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ και στην έξοδό του στο ρέμα της Ραφήνας για  $T = 1000$  έτη και για διάρκεια 12 h. Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 5.64 τη χρονική στιγμή 06:00 ο υπόγειος αγωγός έχει αρχίσει να γεμίζει.



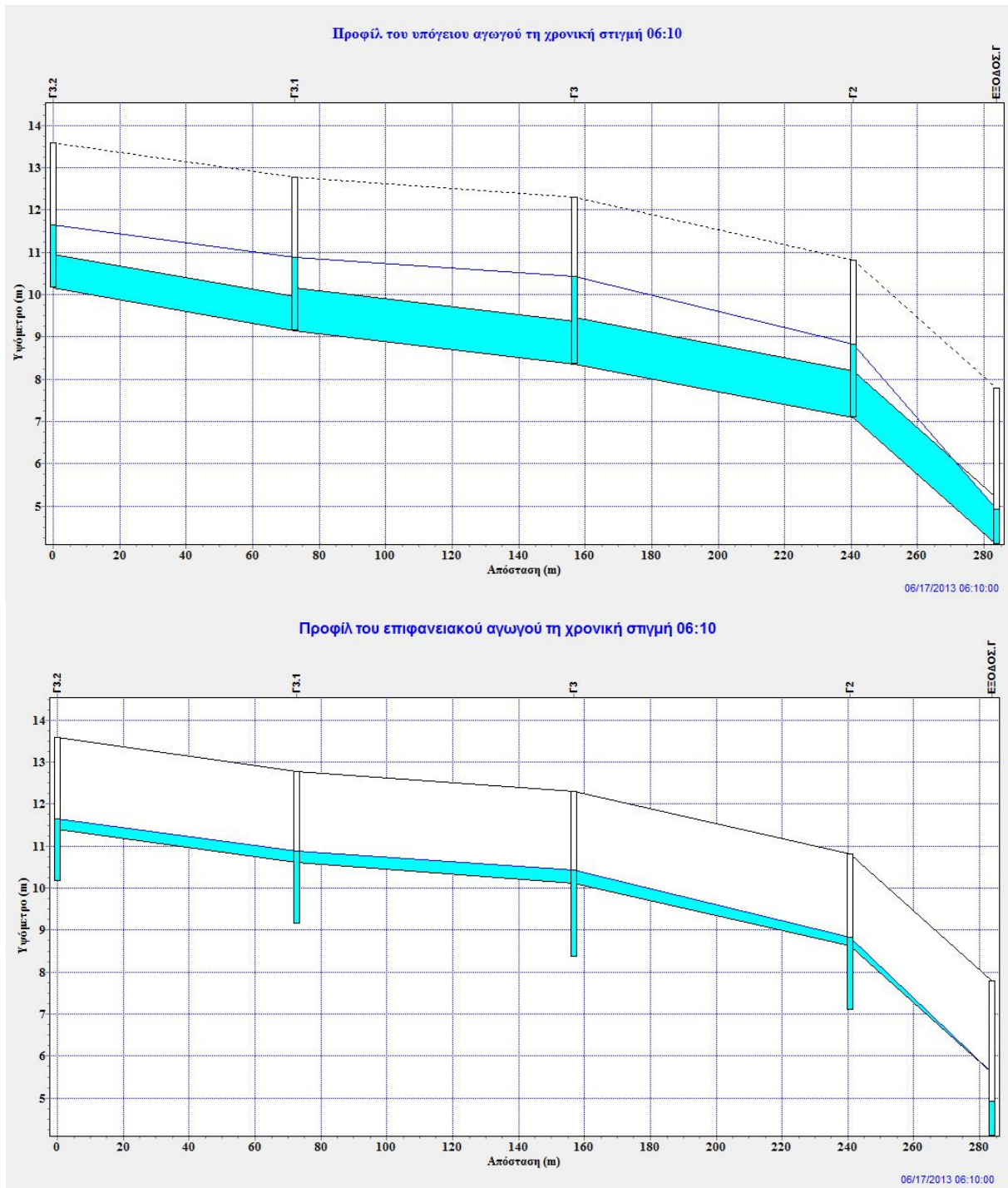
Σχήμα 5.64: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για  $T = 1000$  έτη, στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ τη χρονική στιγμή 06:00.

Στη συνέχεια και μόλις 5 λεπτά μετά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.65 ο υπόγειος αγωγός στα τμήματα αυτά έχει υπερφορτιστεί και πλημμυρίζει και φτάνει στο έδαφος, αφού ο επιφανειακός αγωγός έχει αρχίσει να γεμίζει.



Σχήμα 5.65: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για  $T = 1000$  έτη, στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ τη χρονική στιγμή 06:05.

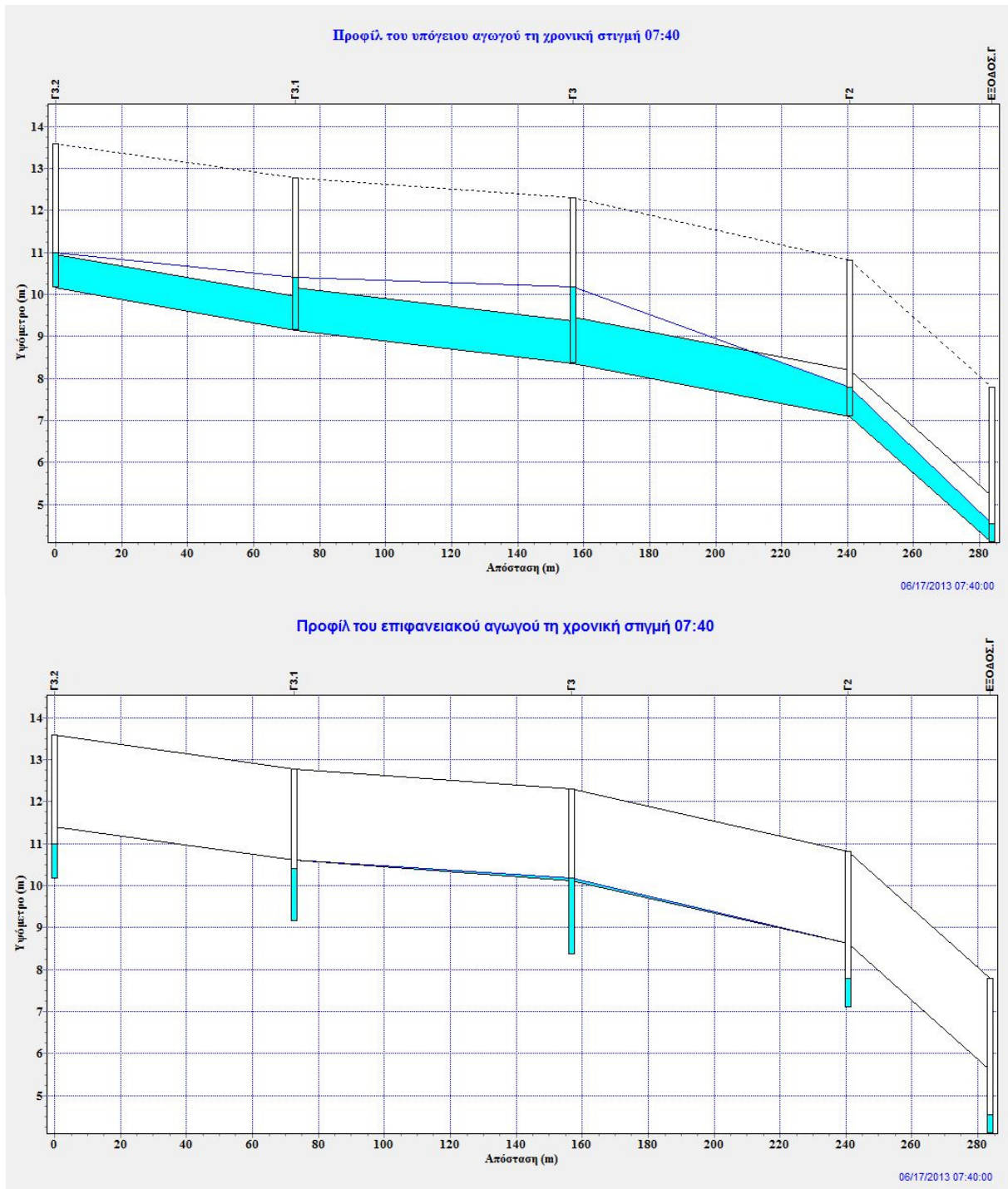
Τη χρονική στιγμή 06:10 παρατηρείται άνοδος της στάθμης στο επιφανειακό σύστημα, αφού η γραμμή ενέργειας έχει φτάσει πάνω από την υπόγειο αγωγό και το υπόγειο σύστημα έχει υπερφορτιστεί. Σε αυτό το σημείο είναι και η αιχμή της πλημμύρας.



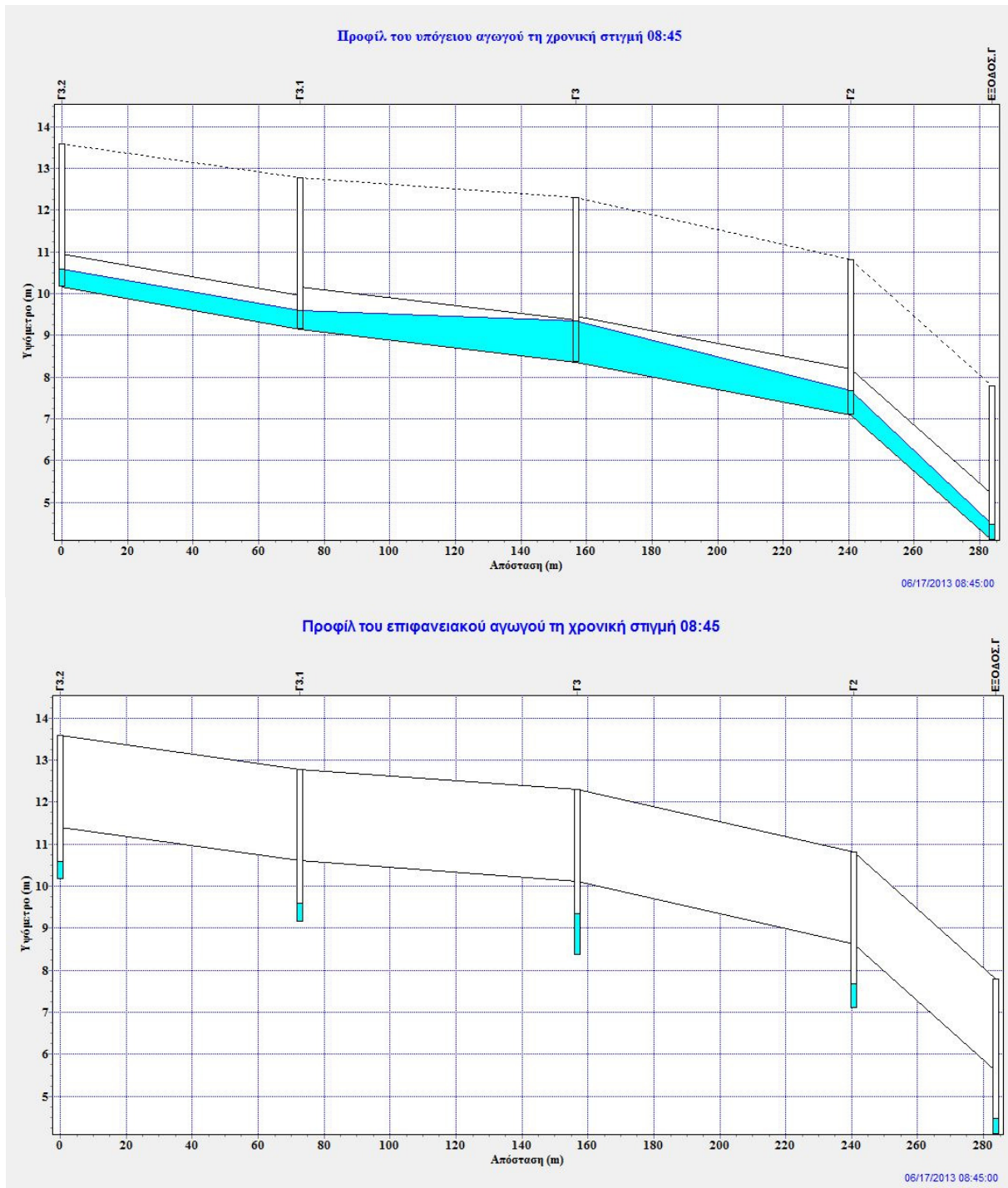
Σχήμα 5.66: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για  $T = 1000$  έτη, στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ τη χρονική στιγμή 06:10.

Στο Σχήμα 5.67 παρατηρείται πτώση της στάθμης στον επιφανειακό αγωγό και η πλημμύρα βρίσκεται στο στάδιο ύφεσης, αφού το νερό απομακρύνεται από τον επιφανειακό αγωγό. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.68, ο επιφανειακός αγωγός δεν έχει καθόλου νερό και στο υπόγειο σύστημα η στάθμη έχει κατέβει σε μεγάλο βαθμό. Τέλος, τη χρονική στιγμή λήξης του γεγονότος βροχόπτωσης η στάθμη έχει πέσει, όχι όμως εντελώς. Ενδεχομένως να απαιτείται περισσότερη ώρα για να αδειάσει εντελώς ο υπόγειος αγωγός.



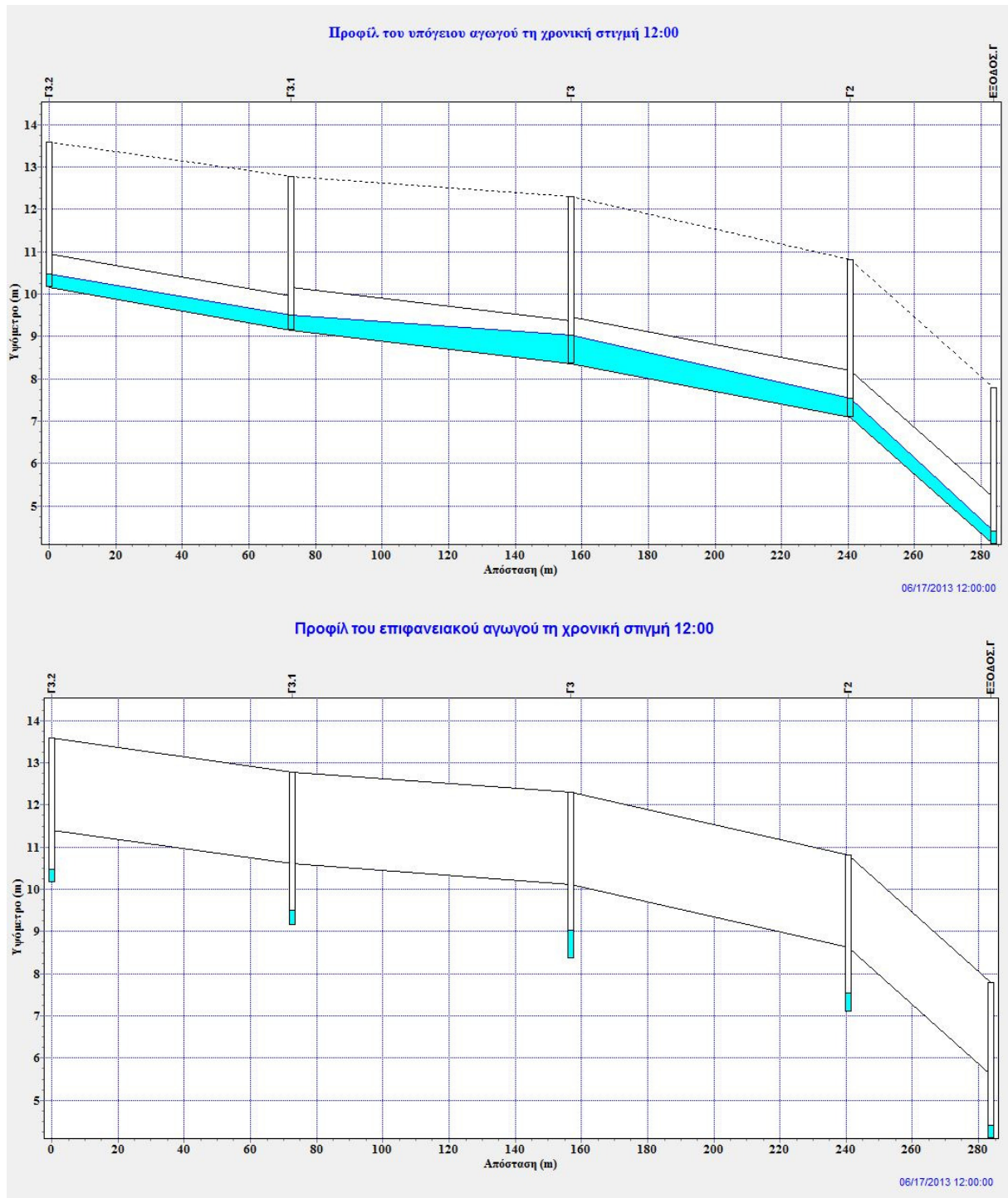


Σχήμα 5.67: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για  $T = 1000$  έτη, στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ τη χρονική στιγμή 07:40.



Σχήμα 5.68: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για  $T = 1000$  έτη, στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ τη χρονική στιγμή 08:45.





Σχήμα 5.69: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για  $T = 1000$  έτη, στον αγωγό της οδού Φλέμινγκ τη χρονική στιγμή 12:00.

### 5.3.5 Συνολικός όγκος νερού στο σύστημα

Το πρόγραμμα SWMM μετά από κάθε προσομοίωση εξάγει έναν συγκεντρωτικό πίνακα με το συνολικό όγκο νερού που εκρέει από τα σημεία εξόδου του αποχετευτικού συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, για κάθε γεγονός βροχόπτωσης, συγκεκριμένης διάρκειας και περιόδου επαναφοράς, είναι διαθέσιμος ο πίνακας με μεγέθη που αφορούν αποκλειστικά τα σημεία εκβολής του αποχετευτικού συστήματος. Σημειώνεται ότι επειδή μόνη έξοδος των όμβριων

υδάτων αποτελεί το ρέμα της Ραφήνας, αλλά οι έξοδοι είναι 5 διαφορετικές, παρουσιάζεται συνολικά η απορροή στο ρέμα στον Πίνακα 5.7 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.6: Υδραυλικά μεγέθη στο ρέμα της Ραφήνας για πλημμυρικά γεγονότα διαφόρων  $T$  και  $t$

$T$ (έτη)	$t$ (h)	Μέση παροχή εκβολής (m <sup>3</sup> /s)	Μέγιστη παροχή εκβολής (m <sup>3</sup> /s)	Συνολικός όγκος νερού (m <sup>3</sup> )
5	1	1.361	3.737	5568
10		1.721	4.675	7110
25		2.299	6.256	11002
50		3.010	7.823	15996
100		3.858	9.891	23404
1000		11.008	25.376	72228
10000		24.811	82.997	182599
5		3	1.147	3.726
10	1.580		4.659	13220
25	2.449		6.237	21982
50	3.290		7.803	31317
100	4.321		9.872	43626
1000	11.257		25.372	117356
10000	25.572		82.945	275593
5	6		1.169	3.725
10		1.679	4.659	18464
25		2.650	6.237	29412
50		3.683	7.803	40864
100		5.033	9.872	55864
1000		13.363	25.376	144954
10000		29.019	82.916	336257
5		12	1.024	3.725
10	1.436		4.659	31809
25	2.196		6.237	48519
50	2.983		7.803	65494
100	4.000		9.872	87253
1000	10.599		25.377	210149
10000	23.031		82.938	470487

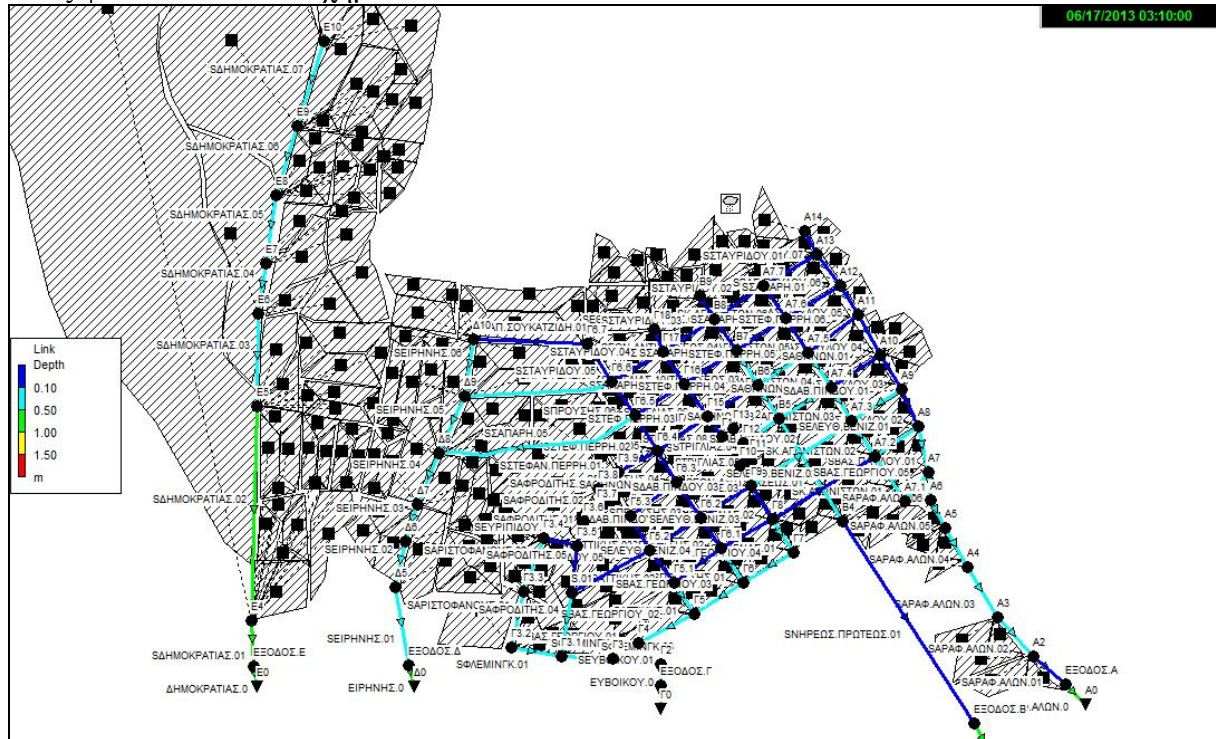
#### 5.4 Αποτελέσματα εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου στο σύνολο της περιοχής μελέτης

Παραπάνω, μελετήθηκε τμηματικά τι συμβαίνει υδραυλικά με διάφορους αγωγούς του δικτύου κάτω από την εφαρμογή συγκεκριμένων γεγονότων βροχόπτωσης σχεδιασμού. Η αναλυτική παρουσίαση όλων των αποτελεσμάτων για όλους τους αγωγούς του δικτύου θα ήταν πρακτικά αδύνατη, αλλά και κουραστική για τον αναγνώστη. Για αυτό το λόγο, στο κεφάλαιο αυτό θα εκτιμηθεί συνολικά ποιες οδοί κινδυνεύουν να πλημμυρίσουν για συγκεκριμένα γεγονότα βροχόπτωσης. Επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή γεγονότων βροχόπτωσης 6 ωρών για 3 διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (25, 50 και 10000 έτη). Θα ελεγχθούν λοιπόν τα βάθη ροής και οι ταχύτητες ροής στους επιφανειακούς αγωγούς, δηλαδή στους δρόμους, τη χρονική στιγμή 03:10, δηλαδή τη χρονική στιγμή εμφάνισης της αιχμής της πλημμύρας.

Για περίοδο επαναφοράς 25 έτη, δεν παρατηρείται το φαινόμενο της πλημμύρας καθώς τόσο τα βάθη ροής όσο και οι ταχύτητες στους επιφανειακούς αγωγούς είναι μηδενικά.

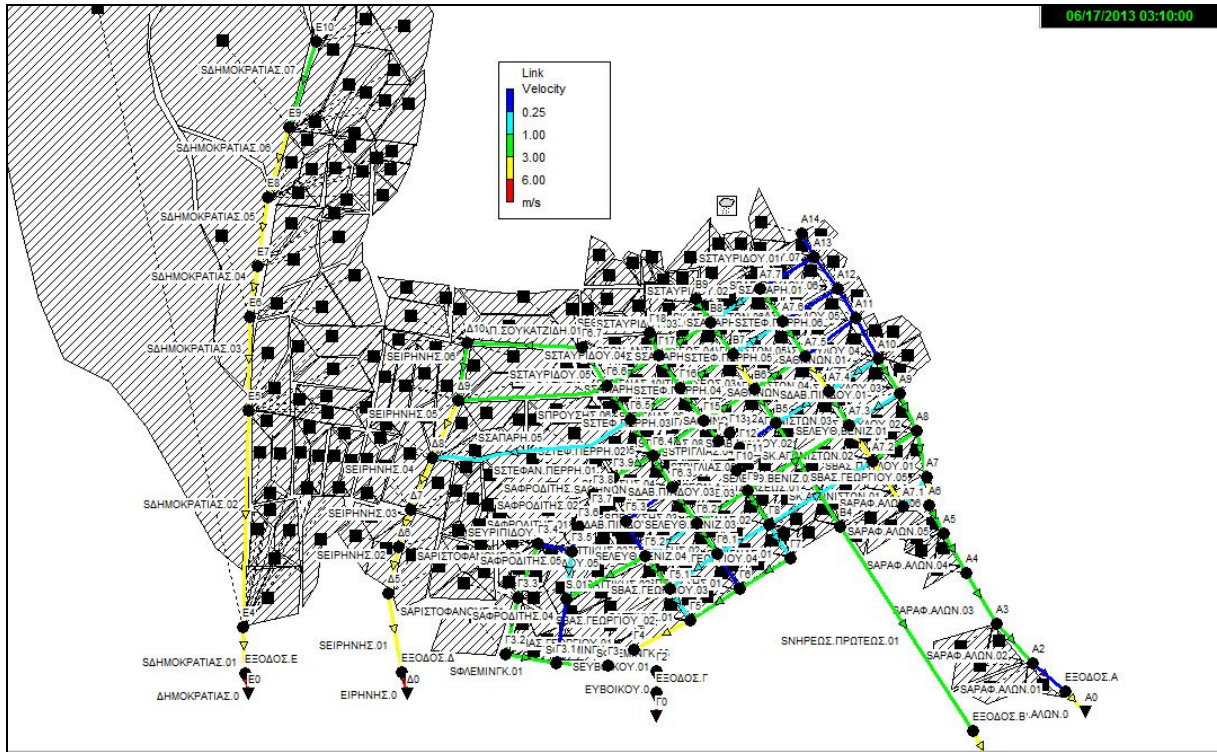
Για περίοδο επαναφοράς 50 έτη, δεν παρατηρείται το φαινόμενο της πλημμύρας καθώς πάλι δεν εμφανίζονται οι ταχύτητες και τα βάθη ροής στους επιφανειακούς αγωγούς.

Όταν η περίοδος επαναφοράς είναι  $T=10000$  έτη οι περισσότεροι υπόγειοι αγωγοί πλημμυρίζουν, ενώ κάποιοι από τους επιφανειακούς αγωγούς φτάνουν στο μέγιστο ποσοστό πλήρωσης που είναι ίσο με 20%, ενώ το βάθος ροής όλων των επιφανειακών αγωγών δεν ξεπερνάει το 1.0m τη χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας, δηλαδή τη στιγμή 03:10, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.70.



Σχήμα 5.70: Απεικόνιση του βάθους ροής στους επιφανειακούς αγωγούς του δικτύου

Για περίοδο επαναφοράς  $T=10000$  έτη παρατηρείται από το Σχήμα 5.71 ότι η ταχύτητες ροής στους επιφανειακούς αγωγούς του δικτύου τη χρονική στιγμή της αιχμής, δηλαδή τη χρονική στιγμή 03:10 δεν ξεπερνούν τα 6 m/s αφού κανένας αγωγός δεν εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα. Παρόλα αυτά, οι αγωγοί που απεικονίζονται με κόκκινο στις εξόδους, αποτελούν τους βοηθητικούς εικονικούς αγωγούς του δυαδικού συστήματος οι οποίοι προστέθηκαν για τη σωστή προσομοίωση του δικτύου. Στο Παράρτημα 5 παρατίθενται οι χάρτες του επιφανειακού δικτύου με τις ταχύτητες ροής τη χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας.



Σχήμα 5.71 :Απεικόνιση του βάθους ροής στους επιφανειακούς αγωγούς του δικτύου



## 6 Συμπεράσματα

---

### 6.1 Γενικά

Στην εργασία αυτή προσομοιώθηκε η λειτουργία του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων στην αστική και περιαστική λεκάνη της Ραφήνας. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας στην περιοχή με χρήση του λογισμικού SWMM. Η προσομοίωση του συστήματος έγινε με την εισαγωγή των δεδομένων τοπολογίας και γεωμετρίας του δικτύου καθώς και με δεδομένα χρονικής εξέλιξης γεγονότων βροχόπτωσης. Με αυτόν τον τρόπο κατέστη δυνατή η παρακολούθηση της χωροχρονικής εξέλιξης των χαρακτηριστικών της ροής στο σύνολο του δικτύου ομβρίων. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό SWMM πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί υψηλής ακρίβειας, αφού εφαρμόστηκε η δυναμική μέθοδος για τη διόδευση του νερού στο σύστημα σε συνθήκες μη μόνιμης ανομοιομορφής ροής.

### 6.2 Δυσκολίες στη μοντελοποίηση του δικτύου

Κατά τη μοντελοποίηση του αποχετευτικού συστήματος υπήρξαν αρκετές δυσκολίες τόσο στη συλλογή των δεδομένων της περιοχής, όσο και στην προσαρμογή των δεδομένων και των ζητούμενων στις αντίστοιχες παραμέτρους. Τα κυριότερα προβλήματα που προέκυψαν ήταν τα εξής:

#### 1. *Ανεπαρκή στοιχεία για τις λεκάνες, τους αγωγούς και τα φρεάτια*

Η μελέτη του δικτύου ομβρίων που έχει πραγματοποιηθεί από την Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου δεν προσδιορίζει με ποιόν τρόπο ορίστηκαν οι λεκάνες απορροής, παρά μόνο ορίζονται τα εμβαδά των λεκανών αυτών. Επίσης, όσον αφορά στους υφιστάμενους αγωγούς, δηλαδή πριν από τη μελέτη του 2006, αν και διευκρινίζεται η διάμετρος και το μήκος του αγωγού, δεν ορίζονται τα φρεάτια και, κατ' επέκταση, δεν ορίζεται το υψόμετρο πυθμένα και εδάφους για τα τμήματα αυτά. Για αυτό το λόγο, χρειάστηκαν να γίνουν παραδοχές για τα υψόμετρα αυτά που προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Επίσης στη μελέτη διευκρινίζονται μόνο οι τελικές παροχές για κάθε αγωγό. Επιπρόσθετα, όσον αφορά στα φρεάτια, δεν ορίζεται η ακριβής θέση τους σύμφωνα με κάποιο σύστημα συντεταγμένων, αλλά μόνο η θέση συναρτήσεως των δρόμων. Για αυτό το λόγο απαιτήθηκε η επιτόπου παρατήρηση των φρεατίων και η καταγραφή τους, για να τοποθετηθούν σωστά στο πρόγραμμα.

#### 2. *Καταχώριση υδρολογικών στοιχείων αστικών και περιαστικών λεκανών*

Η διαστασιολόγηση των αγωγών του δικτύου είχε πραγματοποιηθεί με χρήση της ορθολογικής μεθόδου με αποτέλεσμα να υπεισέρχεται ο συντελεστής απορροής C. Το πρόγραμμα SWMM χρησιμοποιεί τον αριθμό καμπύλης CN προκειμένου να προσομοιώσει την απορροή της λεκάνης. Στη μελέτη που δόθηκε δεν καταγράφεται ο συντελεστής



απορροής και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν χάρτες χρήσεων γης και βλάστησης καθώς και τύπου εδάφους, προκειμένου να προσεγγιστεί ο αριθμός αυτός.

### *3. Καταχώριση λεκανών*

Επειδή σύμφωνα με τη μελέτη δεν υπήρχε σαφής καθορισμός των λεκανών, απαιτήθηκε η χάραξη των λεκανών αυτών. Οι λεκάνες της περιοχής είναι αστικές, αλλά και περιαστικές και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας της αστικής υδρολογίας, αλλά όπου κρίθηκε απαραίτητο, χαράχθηκε ο υδροκρίτης. Παρόλα αυτά, η αστική περιοχή δεν αποτελεί μία ορισμένη περιοχή, αφού στην περιοχή της Ραφήνας υπάρχουν και οικοδομικά τετράγωνα, αλλά και περιοχές με καλλιέργειες. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τρόποι για τη χάραξη των λεκανών με υπόβαθρο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που δόθηκε.

### *4. Ανάγκη εισαγωγής ενός εικονικού σημείου εκβολής για την έξοδο*

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί επιτυχώς το τρέξιμο της εφαρμογής, απαιτήθηκε από το πρόγραμμα η εισαγωγή ενός εικονικού σημείου στην έξοδο.

### *5. Ανάγκη αναζήτησης σημείου εκβολής λεκάνης*

Το πρόγραμμα ορίζει ότι κάθε λεκάνη έχει ένα και μοναδικό σημείο εκβολής και για αυτό το λόγο η περιοχή χωρίστηκε σε υπολεκάνες. Παρόλα αυτά, λόγω της έλλειψης δεδομένων, το σημείο εκβολής της κάθε λεκάνης εκτιμήθηκε τόσο με επιτόπου παρατήρηση όσο και σύμφωνα με τη ροή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, που όμως δεν αντιπροσωπεύει το αστικό κομμάτι της περιοχής, καθώς η επιφάνεια του εδάφους προσαρμόζεται κατάλληλα όταν πρόκειται να οικοδομηθεί.

### *5. Ανάγκη χρήσης δυαδικού συστήματος*

Προκειμένου να είναι επιτυχής η διόδευση για οποιοδήποτε πλημμυρικό φαινόμενο, απαιτήθηκε η σύνθεση του δυαδικού συστήματος. Παρόλα αυτά, η επιτυχής σύνθεσή του βασίζεται στον κατάλληλο προσδιορισμό των επιφανειακών αγωγών με λεπτομερή οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στοιχεία για να προσεγγιστούν οι πραγματικές συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκαν οριζοντιογραφίες από την Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου, που όμως δεν είναι επικαιροποιημένες και χρησιμοποιήθηκε και η πιλοτική εφαρμογή της Κτηματολόγιο ΑΕ. Επειδή όμως στο αστικό τμήμα της περιοχής έπρεπε να εισαχθούν όλοι οι δρόμοι, αυτοί ομαδοποιήθηκαν σε κάποιες κατηγορίες.

Η ορθότητα των αποτελεσμάτων ελέγχθηκε ως προς τις μέγιστες παροχές που προέκυψαν σε σχέση με αυτές που δίνονται στα σχέδια της Υπηρεσίας του δήμου.

## **6.3 Συμπεράσματα από την προσομοίωση του πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη της Ραφήνας**

Σύμφωνα με την προσομοίωση του συστήματος συμπεραίνεται ότι για περίοδο επαναφοράς έως 100 έτη το αποχετευτικό δίκτυο είναι ικανό να διοδεύσει όλη την ποσότητα νερού που απορρέει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το δίκτυο ενδεχομένως να έχει υπερδιαστασιολογηθεί, λόγω της υψηλής και ραγδαίας οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής, αν και δεν διευκρινίζεται η περίοδος επαναφοράς για την οποία διαστασιολογήθηκε το δίκτυο.

Το αποχετευτικό δίκτυο ομβρίων πάσχει περισσότερο στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, λίγο πριν την εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας, όπου εμφανίζεται και η μεγαλύτερη πλημμυρική επικινδυνότητα. Εκεί το νερό εμφανίζει ταχύτητα μέχρι 8 m/s.

Το δυαδικό σύστημα ξεκινάει να λειτουργεί στα 1000 έτη , όταν υπερφορτίζονται οι υπόγειοι αγωγοί. Παρόλα αυτά, οι επιφανειακοί αγωγοί δεν υπερφορτίζονται και φτάνουν σε μικρό ποσοστό πλήρωσης.

Μετά από πλημμυρικό γεγονός 10000 ετών, οι μέγιστες παροχές στους υπόγειους αγωγούς στην έξοδο εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές με τις μέγιστες παροχές των 1000 ετών. Αυτό συμβαίνει γιατί και στις δύο περιπτώσεις όλα τα τμήματα του κάθε αγωγού είναι υπερφορτισμένα και δεν υπάρχουν περιθώρια σημαντικής αύξησης.





## Αναφορές

---

### Στην ελληνική γλώσσα

Αποστόλου Ε., *Η διερεύνηση της εξέλιξης της οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής της Ραφήνας*, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2008.

Γραφείο Μαχαίρα, *Προμελέτη (Διευθέτησης) ρέματος Ραφήνας*, Χρηματοδότηση: ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1996.

Κουτσογιάννης Δ., και Ξανθόπουλος Θ., *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Κουτσογιάννης Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Κουτσογιάννης Δ., *Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης*. Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.

Κοψιαύτη Μ., *Διερεύνηση λύσεων για την αντιπλημμυρική προστασία της λεκάνης απορροής του ρέματος Ραφήνας*, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2006.

Κυριακοπούλου Δ., Κρόκος Ι., *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Αρνός, Αθήνα, 1993.

Ναλμπάντης Ι., Κεφάλαιο 15 στο *Αστικά Υδραυλικά Έργα*, (υπεύθυνος έκδοσης Τσακίρης Γ.), Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2010.

Παπαθανασίου Κ., *Προσομοίωση δικτύου ομβρίων με το λογισμικό SWMM 5*, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

Τσακίρης Γ., *Αστικά Υδραυλικά Έργα*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2010.

Τσακίρης Γ., *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1995.

Τσεκούρα Χ., *Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες απορροής*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010

### Ξενόγλωσσες

Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.

James W., Huber W., Pitt R., Dickinson R., James W. R., *Water Systems models [1] HYDROLOGY User's Guide to SWMM4 Runoff*, CHI Publications, 2002.

James W., Huber W., Pitt R., Dickinson R., James W. R., *Water Systems models [2] HYDRAULICS, User's Guide to SWMM4 Transport, Extran and Storage modules*, CHI Publications, 2002.

Gironas J., Roesner L., Davis J., *Storm Water Management Model Application Manual*, Colorado, 2009

Mays., L. *Water Resources Handbook*, 1996.

Rossman L., *Srorm Water Management Model User's manual*, 2010

Shaw, E., *Hydrology in practice*, 2<sup>nd</sup> edition, Great Britain, 1983.

### **Διαδίκτυο**

[www.ktimanet.gr](http://www.ktimanet.gr)

itia.ntua.gr

[www.maps.google.gr](http://www.maps.google.gr)

[www.anat-attiki.gr](http://www.anat-attiki.gr)

## Παράρτημα 1: Πίνακες

Πίνακας Π1. 1: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	0.00	0.00		
0.17	76.77	12.79	12.79	2.62
0.33	52.80	17.60	4.80	3.61
0.50	42.42	21.21	3.61	12.79
0.67	36.31	24.21	3.00	4.80
0.83	32.19	26.83	2.62	3.00
1.00	29.17	29.17	2.35	2.35

Πίνακας Π1. 2: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	94.51	15.75	15.75	3.22
0.33	65.00	21.67	5.92	4.44
0.50	52.22	26.11	4.44	15.75
0.67	44.71	29.80	3.69	5.92
0.83	39.63	33.03	3.22	3.69
1.00	35.91	35.91	2.89	2.89

Πίνακας Π1. 3: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	124.41	20.74	20.74	4.24
0.33	85.57	28.52	7.79	5.85
0.50	68.74	34.37	5.85	20.74
0.67	58.85	39.23	4.86	7.79
0.83	52.17	43.47	4.24	4.86
1.00	47.28	47.28	3.80	3.80

Πίνακας Π1. 4: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	153.17	25.53	25.53	5.22
0.33	105.34	35.11	9.59	7.20
0.50	84.63	42.31	7.20	25.53
0.67	72.45	48.30	5.99	9.59
0.83	64.23	53.52	5.22	5.99
1.00	58.21	58.21	4.68	4.68

Πίνακας Π1. 5: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	188.57	31.43	31.43	6.43
0.33	129.69	43.23	11.80	8.86
0.50	104.19	52.10	8.86	31.43
0.67	89.20	59.47	7.37	11.80
0.83	79.07	65.89	6.43	7.37
1.00	71.66	71.66	5.76	5.76

Πίνακας Π1. 6: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	376.25	62.71	62.71	12.83
0.33	258.77	86.26	23.55	17.69
0.50	207.89	103.94	17.69	62.71
0.67	177.98	118.65	14.71	23.55
0.83	157.77	131.48	12.83	14.71
1.00	142.98	142.98	11.50	11.50

Πίνακας Π1. 7: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  έτη και  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	750.71	125.12	125.12	25.59
0.33	516.32	172.11	46.99	35.29
0.50	414.79	207.40	35.29	125.12
0.67	355.11	236.74	29.34	46.99
0.83	314.80	262.33	25.59	29.34
1.00	285.28	285.28	22.95	22.95

Πίνακας Π1. 8: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	76.77	12.79	12.79	1.30
0.33	52.80	17.60	4.80	1.39
0.50	42.42	21.21	3.61	1.51
0.67	36.31	24.21	3.00	1.65
0.83	32.19	26.83	2.62	1.85
1.00	29.17	29.17	2.35	2.14
1.17	26.84	31.32	2.14	2.62
1.33	24.97	33.30	1.98	3.61
1.50	23.44	35.15	1.85	12.79
1.67	22.14	36.90	1.75	4.80
1.83	21.03	38.55	1.65	3.00
2.00	20.06	40.13	1.57	2.35
2.17	19.21	41.63	1.51	1.98
2.33	18.46	43.08	1.44	1.75
2.50	17.79	44.46	1.39	1.57
2.67	17.18	45.80	1.34	1.44
2.83	16.62	47.10	1.30	1.34
3.00	16.12	48.35	1.25	1.25

Πίνακας Π1. 9: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	94.51	15.75	15.75	1.59
0.33	65.00	21.67	5.92	1.71
0.50	52.22	26.11	4.44	1.85
0.67	44.71	29.80	3.69	2.04
0.83	39.63	33.03	3.22	2.28
1.00	35.91	35.91	2.89	2.64
1.17	33.05	38.55	2.64	3.22
1.33	30.75	41.00	2.44	4.44
1.50	28.85	43.28	2.28	15.75
1.67	27.26	45.43	2.15	5.92
1.83	25.89	47.46	2.04	3.69
2.00	24.70	49.40	1.94	2.89
2.17	23.66	51.26	1.85	2.44
2.33	22.73	53.03	1.78	2.15
2.50	21.90	54.74	1.71	1.94
2.67	21.15	56.39	1.65	1.78
2.83	20.47	57.99	1.59	1.65
3.00	19.84	59.53	1.54	1.54



Πίνακας Π1. 10: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	124.41	20.74	20.74	2.10
0.33	85.57	28.52	7.79	2.25
0.50	68.74	34.37	5.85	2.44
0.67	58.85	39.23	4.86	2.68
0.83	52.17	43.47	4.24	3.00
1.00	47.28	47.28	3.80	3.47
1.17	43.50	50.75	3.47	4.24
1.33	40.48	53.97	3.22	5.85
1.50	37.98	56.97	3.00	20.74
1.67	35.88	59.80	2.83	7.79
1.83	34.08	62.48	2.68	4.86
2.00	32.52	65.03	2.55	3.80
2.17	31.14	67.47	2.44	3.22
2.33	29.92	69.81	2.34	2.83
2.50	28.82	72.06	2.25	2.55
2.67	27.84	74.23	2.17	2.34
2.83	26.94	76.33	2.10	2.17
3.00	26.12	78.37	2.03	2.03

Πίνακας Π1. 11: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	153.17	25.53	25.53	2.58
0.33	105.34	35.11	9.59	2.77
0.50	84.63	42.31	7.20	3.00
0.67	72.45	48.30	5.99	3.30
0.83	64.23	53.52	5.22	3.70
1.00	58.21	58.21	4.68	4.28
1.17	53.56	62.48	4.28	5.22
1.33	49.83	66.44	3.96	7.20
1.50	46.76	70.14	3.70	25.53
1.67	44.17	73.62	3.48	9.59
1.83	41.96	76.92	3.30	5.99
2.00	40.03	80.06	3.14	4.68
2.17	38.34	83.07	3.00	3.96
2.33	36.83	85.95	2.88	3.48
2.50	35.49	88.72	2.77	3.14
2.67	34.27	91.39	2.67	2.88
2.83	33.17	93.98	2.58	2.67
3.00	32.16	96.48	2.50	2.50

Πίνακας Π1. 12: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	188.57	31.43	31.43	3.18
0.33	129.69	43.23	11.80	3.41
0.50	104.19	52.10	8.86	3.70
0.67	89.20	59.47	7.37	4.06
0.83	79.07	65.89	6.43	4.55
1.00	71.66	71.66	5.76	5.27
1.17	65.94	76.93	5.27	6.43
1.33	61.35	81.80	4.87	8.86
1.50	57.57	86.35	4.55	31.43
1.67	54.38	90.64	4.29	11.80
1.83	51.66	94.70	4.06	7.37
2.00	49.29	98.57	3.87	5.76
2.17	47.20	102.27	3.70	4.87
2.33	45.35	105.81	3.55	4.29
2.50	43.69	109.23	3.41	3.87
2.67	42.19	112.52	3.29	3.55
2.83	40.83	115.70	3.18	3.29
3.00	39.59	118.78	3.08	3.08

Πίνακας Π1. 13: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	376.25	62.71	62.71	6.35
0.33	258.77	86.26	23.55	6.81
0.50	207.89	103.94	17.69	7.38
0.67	177.98	118.65	14.71	8.11
0.83	157.77	131.48	12.83	9.09
1.00	142.98	142.98	11.50	10.51
1.17	131.56	153.49	10.51	12.83
1.33	122.41	163.21	9.72	17.69
1.50	114.86	172.30	9.09	62.71
1.67	108.51	180.85	8.56	23.55
1.83	103.07	188.96	8.11	14.71
2.00	98.34	196.67	7.72	11.50
2.17	94.18	204.05	7.38	9.72
2.33	90.48	211.13	7.08	8.56
2.50	87.17	217.93	6.81	7.72
2.67	84.19	224.50	6.57	7.08
2.83	81.48	230.85	6.35	6.57
3.00	79.00	237.00	6.15	6.15

Πίνακας Π1. 14: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  έτη και  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	750.71	125.12	125.12	12.67
0.33	516.32	172.11	46.99	13.58
0.50	414.79	207.40	35.29	14.72
0.67	355.11	236.74	29.34	16.17
0.83	314.80	262.33	25.59	18.13
1.00	285.28	285.28	22.95	20.96
1.17	262.50	306.24	20.96	25.59
1.33	244.23	325.64	19.40	35.29
1.50	229.18	343.78	18.13	125.12
1.67	216.51	360.85	17.07	46.99
1.83	205.65	377.02	16.17	29.34
2.00	196.21	392.42	15.40	22.95
2.17	187.91	407.13	14.72	19.40
2.33	180.54	421.25	14.12	17.07
2.50	173.93	434.84	13.58	15.40
2.67	167.98	447.94	13.10	14.12
2.83	162.57	460.61	12.67	13.10
3.00	157.63	472.88	12.27	12.27

Πίνακας Π1. 15: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	76.77	12.79	12.79	0.87
0.33	52.80	17.60	4.80	0.90
0.50	42.42	21.21	3.61	0.93
0.67	36.31	24.21	3.00	0.96
0.83	32.19	26.83	2.62	1.00
1.00	29.17	29.17	2.35	1.05
1.17	26.84	31.32	2.14	1.10
1.33	24.97	33.30	1.98	1.15
1.50	23.44	35.15	1.85	1.22
1.67	22.14	36.90	1.75	1.30
1.83	21.03	38.55	1.65	1.39
2.00	20.06	40.13	1.57	1.51
2.17	19.21	41.63	1.51	1.65
2.33	18.46	43.08	1.44	1.85
2.50	17.79	44.46	1.39	2.14
2.67	17.18	45.80	1.34	2.62
2.83	16.62	47.10	1.30	3.61
3.00	16.12	48.35	1.25	12.79
3.17	15.65	49.57	1.22	4.80
3.33	15.23	50.76	1.18	3.00
3.50	14.83	51.91	1.15	2.35
3.67	14.46	53.03	1.12	1.98
3.83	14.12	54.13	1.10	1.75
4.00	13.80	55.20	1.07	1.57
4.17	13.50	56.24	1.05	1.44
4.33	13.22	57.27	1.02	1.34
4.50	12.95	58.27	1.00	1.25
4.67	12.70	59.25	0.98	1.18
4.83	12.46	60.22	0.96	1.12
5.00	12.23	61.16	0.95	1.07
5.17	12.02	62.09	0.93	1.02
5.33	11.81	63.01	0.91	0.98
5.50	11.62	63.90	0.90	0.95
5.67	11.43	64.79	0.88	0.91
5.83	11.26	65.66	0.87	0.88
6.00	11.09	66.51	0.86	0.86

Πίνακας Π1. 16: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	94.51	15.75	15.75	1.07
0.33	65.00	21.67	5.92	1.11
0.50	52.22	26.11	4.44	1.14
0.67	44.71	29.80	3.69	1.19
0.83	39.63	33.03	3.22	1.23
1.00	35.91	35.91	2.89	1.29
1.17	33.05	38.55	2.64	1.35
1.33	30.75	41.00	2.44	1.42
1.50	28.85	43.28	2.28	1.50
1.67	27.26	45.43	2.15	1.59
1.83	25.89	47.46	2.04	1.71
2.00	24.70	49.40	1.94	1.85
2.17	23.66	51.26	1.85	2.04
2.33	22.73	53.03	1.78	2.28
2.50	21.90	54.74	1.71	2.64
2.67	21.15	56.39	1.65	3.22
2.83	20.47	57.99	1.59	4.44
3.00	19.84	59.53	1.54	15.75
3.17	19.27	61.03	1.50	5.92
3.33	18.75	62.49	1.46	3.69
3.50	18.26	63.91	1.42	2.89
3.67	17.81	65.29	1.38	2.44
3.83	17.38	66.64	1.35	2.15
4.00	16.99	67.95	1.32	1.94
4.17	16.62	69.24	1.29	1.78
4.33	16.27	70.50	1.26	1.65
4.50	15.94	71.74	1.23	1.54
4.67	15.63	72.95	1.21	1.46
4.83	15.34	74.14	1.19	1.38
5.00	15.06	75.30	1.17	1.32
5.17	14.80	76.45	1.14	1.26
5.33	14.54	77.57	1.12	1.21
5.50	14.30	78.68	1.11	1.17
5.67	14.08	79.76	1.09	1.12
5.83	13.86	80.83	1.07	1.09
6.00	13.65	81.89	1.05	1.05

Πίνακας Π1. 17: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	124.41	20.74	20.74	1.41
0.33	85.57	28.52	7.79	1.46
0.50	68.74	34.37	5.85	1.51
0.67	58.85	39.23	4.86	1.56
0.83	52.17	43.47	4.24	1.63
1.00	47.28	47.28	3.80	1.70
1.17	43.50	50.75	3.47	1.78
1.33	40.48	53.97	3.22	1.87
1.50	37.98	56.97	3.00	1.97
1.67	35.88	59.80	2.83	2.10
1.83	34.08	62.48	2.68	2.25
2.00	32.52	65.03	2.55	2.44
2.17	31.14	67.47	2.44	2.68
2.33	29.92	69.81	2.34	3.00
2.50	28.82	72.06	2.25	3.47
2.67	27.84	74.23	2.17	4.24
2.83	26.94	76.33	2.10	5.85
3.00	26.12	78.37	2.03	20.74
3.17	25.37	80.34	1.97	7.79
3.33	24.68	82.26	1.92	4.86
3.50	24.04	84.13	1.87	3.80
3.67	23.44	85.94	1.82	3.22
3.83	22.88	87.72	1.78	2.83
4.00	22.36	89.45	1.73	2.55
4.17	21.88	91.15	1.70	2.34
4.33	21.42	92.81	1.66	2.17
4.50	20.99	94.43	1.63	2.03
4.67	20.58	96.03	1.59	1.92
4.83	20.19	97.59	1.56	1.82
5.00	19.82	99.12	1.53	1.73
5.17	19.48	100.63	1.51	1.66
5.33	19.15	102.11	1.48	1.59
5.50	18.83	103.57	1.46	1.53
5.67	18.53	105.00	1.43	1.48
5.83	18.24	106.41	1.41	1.43
6.00	17.97	107.80	1.39	1.39



Πίνακας Π1. 18: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	153.17	25.53	25.53	1.74
0.33	105.34	35.11	9.59	1.79
0.50	84.63	42.31	7.20	1.85
0.67	72.45	48.30	5.99	1.92
0.83	64.23	53.52	5.22	2.00
1.00	58.21	58.21	4.68	2.09
1.17	53.56	62.48	4.28	2.19
1.33	49.83	66.44	3.96	2.30
1.50	46.76	70.14	3.70	2.43
1.67	44.17	73.62	3.48	2.58
1.83	41.96	76.92	3.30	2.77
2.00	40.03	80.06	3.14	3.00
2.17	38.34	83.07	3.00	3.30
2.33	36.83	85.95	2.88	3.70
2.50	35.49	88.72	2.77	4.28
2.67	34.27	91.39	2.67	5.22
2.83	33.17	93.98	2.58	7.20
3.00	32.16	96.48	2.50	25.53
3.17	31.23	98.91	2.43	9.59
3.33	30.38	101.27	2.36	5.99
3.50	29.59	103.57	2.30	4.68
3.67	28.86	105.81	2.24	3.96
3.83	28.17	108.00	2.19	3.48
4.00	27.53	110.13	2.14	3.14
4.17	26.93	112.22	2.09	2.88
4.33	26.37	114.26	2.04	2.67
4.50	25.84	116.26	2.00	2.50
4.67	25.33	118.22	1.96	2.36
4.83	24.86	120.15	1.92	2.24
5.00	24.41	122.04	1.89	2.14
5.17	23.98	123.89	1.85	2.04
5.33	23.57	125.71	1.82	1.96
5.50	23.18	127.51	1.79	1.89
5.67	22.81	129.27	1.76	1.82
5.83	22.46	131.00	1.74	1.76
6.00	22.12	132.71	1.71	1.71

Πίνακας Π1. 19: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	188.57	31.43	31.43	2.14
0.33	129.69	43.23	11.80	2.21
0.50	104.19	52.10	8.86	2.28
0.67	89.20	59.47	7.37	2.37
0.83	79.07	65.89	6.43	2.46
1.00	71.66	71.66	5.76	2.57
1.17	65.94	76.93	5.27	2.69
1.33	61.35	81.80	4.87	2.83
1.50	57.57	86.35	4.55	2.99
1.67	54.38	90.64	4.29	3.18
1.83	51.66	94.70	4.06	3.41
2.00	49.29	98.57	3.87	3.70
2.17	47.20	102.27	3.70	4.06
2.33	45.35	105.81	3.55	4.55
2.50	43.69	109.23	3.41	5.27
2.67	42.19	112.52	3.29	6.43
2.83	40.83	115.70	3.18	8.86
3.00	39.59	118.78	3.08	31.43
3.17	38.45	121.77	2.99	11.80
3.33	37.40	124.68	2.91	7.37
3.50	36.43	127.51	2.83	5.76
3.67	35.53	130.27	2.76	4.87
3.83	34.68	132.96	2.69	4.29
4.00	33.90	135.59	2.63	3.87
4.17	33.16	138.16	2.57	3.55
4.33	32.46	140.67	2.52	3.29
4.50	31.81	143.14	2.46	3.08
4.67	31.19	145.55	2.41	2.91
4.83	30.60	147.92	2.37	2.76
5.00	30.05	150.24	2.32	2.63
5.17	29.52	152.53	2.28	2.52
5.33	29.02	154.77	2.24	2.41
5.50	28.54	156.98	2.21	2.32
5.67	28.09	159.15	2.17	2.24
5.83	27.65	161.29	2.14	2.17
6.00	27.23	163.39	2.10	2.10

Πίνακας Π1. 20: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	376.25	62.71	62.71	4.26
0.33	258.77	86.26	23.55	4.40
0.50	207.89	103.94	17.69	4.56
0.67	177.98	118.65	14.71	4.73
0.83	157.77	131.48	12.83	4.92
1.00	142.98	142.98	11.50	5.13
1.17	131.56	153.49	10.51	5.37
1.33	122.41	163.21	9.72	5.65
1.50	114.86	172.30	9.09	5.97
1.67	108.51	180.85	8.56	6.35
1.83	103.07	188.96	8.11	6.81
2.00	98.34	196.67	7.72	7.38
2.17	94.18	204.05	7.38	8.11
2.33	90.48	211.13	7.08	9.09
2.50	87.17	217.93	6.81	10.51
2.67	84.19	224.50	6.57	12.83
2.83	81.48	230.85	6.35	17.69
3.00	79.00	237.00	6.15	62.71
3.17	76.73	242.97	5.97	23.55
3.33	74.63	248.77	5.80	14.71
3.50	72.69	254.42	5.65	11.50
3.67	70.89	259.92	5.50	9.72
3.83	69.21	265.29	5.37	8.56
4.00	67.63	270.53	5.24	7.72
4.17	66.16	275.66	5.13	7.08
4.33	64.77	280.68	5.02	6.57
4.50	63.47	285.59	4.92	6.15
4.67	62.23	290.41	4.82	5.80
4.83	61.06	295.14	4.73	5.50
5.00	59.96	299.78	4.64	5.24
5.17	58.90	304.33	4.56	5.02
5.33	57.90	308.81	4.48	4.82
5.50	56.95	313.21	4.40	4.64
5.67	56.04	317.54	4.33	4.48
5.83	55.17	321.81	4.26	4.33
6.00	54.33	326.00	4.20	4.20

Πίνακας Π1. 21: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  έτη και  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	750.71	125.12	125.12	8.50
0.33	516.32	172.11	46.99	8.78
0.50	414.79	207.40	35.29	9.09
0.67	355.11	236.74	29.34	9.43
0.83	314.80	262.33	25.59	9.81
1.00	285.28	285.28	22.95	10.23
1.17	262.50	306.24	20.96	10.71
1.33	244.23	325.64	19.40	11.27
1.50	229.18	343.78	18.13	11.91
1.67	216.51	360.85	17.07	12.67
1.83	205.65	377.02	16.17	13.58
2.00	196.21	392.42	15.40	14.72
2.17	187.91	407.13	14.72	16.17
2.33	180.54	421.25	14.12	18.13
2.50	173.93	434.84	13.58	20.96
2.67	167.98	447.94	13.10	25.59
2.83	162.57	460.61	12.67	35.29
3.00	157.63	472.88	12.27	125.12
3.17	153.09	484.79	11.91	46.99
3.33	148.91	496.36	11.57	29.34
3.50	145.04	507.63	11.27	22.95
3.67	141.44	518.61	10.98	19.40
3.83	138.08	529.32	10.71	17.07
4.00	134.95	539.78	10.46	15.40
4.17	132.00	550.02	10.23	14.12
4.33	129.24	560.03	10.01	13.10
4.50	126.63	569.84	9.81	12.27
4.67	124.17	579.45	9.61	11.57
4.83	121.84	588.88	9.43	10.98
5.00	119.63	598.13	9.26	10.46
5.17	117.53	607.22	9.09	10.01
5.33	115.53	616.16	8.93	9.61
5.50	113.63	624.94	8.78	9.26
5.67	111.81	633.58	8.64	8.93
5.83	110.07	642.09	8.50	8.64
6.00	108.41	650.46	8.37	8.37

Πίνακας Π1. 22: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	76.77	12.79	12.79	0.59
0.33	52.80	17.60	4.80	0.60
0.50	42.42	21.21	3.61	0.61
0.67	36.31	24.21	3.00	0.62
0.83	32.19	26.83	2.62	0.63
1.00	29.17	29.17	2.35	0.64
1.17	26.84	31.32	2.14	0.65
1.33	24.97	33.30	1.98	0.67
1.50	23.44	35.15	1.85	0.68
1.67	22.14	36.90	1.75	0.69
1.83	21.03	38.55	1.65	0.71
2.00	20.06	40.13	1.57	0.72
2.17	19.21	41.63	1.51	0.74
2.33	18.46	43.08	1.44	0.76
2.50	17.79	44.46	1.39	0.78
2.67	17.18	45.80	1.34	0.80
2.83	16.62	47.10	1.30	0.82
3.00	16.12	48.35	1.25	0.84
3.17	15.65	49.57	1.22	0.87
3.33	15.23	50.76	1.18	0.90
3.50	14.83	51.91	1.15	0.93
3.67	14.46	53.03	1.12	0.96
3.83	14.12	54.13	1.10	1.00
4.00	13.80	55.20	1.07	1.05
4.17	13.50	56.24	1.05	1.10
4.33	13.22	57.27	1.02	1.15
4.50	12.95	58.27	1.00	1.22
4.67	12.70	59.25	0.98	1.30
4.83	12.46	60.22	0.96	1.39
5.00	12.23	61.16	0.95	1.51
5.17	12.02	62.09	0.93	1.65
5.33	11.81	63.01	0.91	1.85
5.50	11.62	63.90	0.90	2.14
5.67	11.43	64.79	0.88	2.62
5.83	11.26	65.66	0.87	3.61
6.00	11.09	66.51	0.86	12.79

Πίνακας Π1. 23: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 5$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	10.92	67.36	0.84	4.80
6.33	10.77	68.19	0.83	3.00
6.50	10.62	69.01	0.82	2.35
6.67	10.47	69.82	0.81	1.98
6.83	10.33	70.61	0.80	1.75
7.00	10.20	71.40	0.79	1.57
7.17	10.07	72.18	0.78	1.44
7.33	9.95	72.95	0.77	1.34
7.50	9.83	73.70	0.76	1.25
7.67	9.71	74.45	0.75	1.18
7.83	9.60	75.19	0.74	1.12
8.00	9.49	75.93	0.73	1.07
8.17	9.39	76.65	0.72	1.02
8.33	9.28	77.36	0.72	0.98
8.50	9.18	78.07	0.71	0.95
8.67	9.09	78.77	0.70	0.91
8.83	9.00	79.47	0.69	0.88
9.00	8.91	80.15	0.69	0.86
9.17	8.82	80.83	0.68	0.83
9.33	8.73	81.50	0.67	0.81
9.50	8.65	82.17	0.67	0.79
9.67	8.57	82.83	0.66	0.77
9.83	8.49	83.48	0.65	0.75
10.00	8.41	84.13	0.65	0.73
10.17	8.34	84.77	0.64	0.72
10.33	8.27	85.41	0.64	0.70
10.50	8.19	86.04	0.63	0.69
10.67	8.13	86.67	0.63	0.67
10.83	8.06	87.29	0.62	0.66
11.00	7.99	87.90	0.62	0.65
11.17	7.93	88.51	0.61	0.64
11.33	7.86	89.12	0.61	0.63
11.50	7.80	89.72	0.60	0.62
11.67	7.74	90.31	0.60	0.61
11.83	7.68	90.91	0.59	0.60
12.00	7.62	91.49	0.59	0.59

Πίνακας Π1. 23: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	94.51	15.75	15.75	0.73
0.33	65.00	21.67	5.92	0.74
0.50	52.22	26.11	4.44	0.75
0.67	44.71	29.80	3.69	0.76
0.83	39.63	33.03	3.22	0.78
1.00	35.91	35.91	2.89	0.79
1.17	33.05	38.55	2.64	0.81
1.33	30.75	41.00	2.44	0.82
1.50	28.85	43.28	2.28	0.84
1.67	27.26	45.43	2.15	0.85
1.83	25.89	47.46	2.04	0.87
2.00	24.70	49.40	1.94	0.89
2.17	23.66	51.26	1.85	0.91
2.33	22.73	53.03	1.78	0.93
2.50	21.90	54.74	1.71	0.96
2.67	21.15	56.39	1.65	0.98
2.83	20.47	57.99	1.59	1.01
3.00	19.84	59.53	1.54	1.04
3.17	19.27	61.03	1.50	1.07
3.33	18.75	62.49	1.46	1.11
3.50	18.26	63.91	1.42	1.14
3.67	17.81	65.29	1.38	1.19
3.83	17.38	66.64	1.35	1.23
4.00	16.99	67.95	1.32	1.29
4.17	16.62	69.24	1.29	1.35
4.33	16.27	70.50	1.26	1.42
4.50	15.94	71.74	1.23	1.50
4.67	15.63	72.95	1.21	1.59
4.83	15.34	74.14	1.19	1.71
5.00	15.06	75.30	1.17	1.85
5.17	14.80	76.45	1.14	2.04
5.33	14.54	77.57	1.12	2.28
5.50	14.30	78.68	1.11	2.64
5.67	14.08	79.76	1.09	3.22
5.83	13.86	80.83	1.07	4.44
6.00	13.65	81.89	1.05	15.75

Πίνακας Π1. 23: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	13.45	82.93	1.04	5.92
6.33	13.26	83.95	1.02	3.69
6.50	13.07	84.96	1.01	2.89
6.67	12.89	85.95	1.00	2.44
6.83	12.72	86.94	0.98	2.15
7.00	12.56	87.91	0.97	1.94
7.17	12.40	88.86	0.96	1.78
7.33	12.25	89.81	0.94	1.65
7.50	12.10	90.74	0.93	1.54
7.67	11.96	91.66	0.92	1.46
7.83	11.82	92.57	0.91	1.38
8.00	11.68	93.47	0.90	1.32
8.17	11.55	94.37	0.89	1.26
8.33	11.43	95.25	0.88	1.21
8.50	11.31	96.12	0.87	1.17
8.67	11.19	96.98	0.86	1.12
8.83	11.08	97.83	0.85	1.09
9.00	10.96	98.68	0.84	1.05
9.17	10.86	99.52	0.84	1.02
9.33	10.75	100.34	0.83	1.00
9.50	10.65	101.16	0.82	0.97
9.67	10.55	101.98	0.81	0.94
9.83	10.45	102.78	0.81	0.92
10.00	10.36	103.58	0.80	0.90
10.17	10.27	104.37	0.79	0.88
10.33	10.18	105.15	0.78	0.86
10.50	10.09	105.93	0.78	0.84
10.67	10.00	106.70	0.77	0.83
10.83	9.92	107.46	0.76	0.81
11.00	9.84	108.22	0.76	0.80
11.17	9.76	108.97	0.75	0.78
11.33	9.68	109.72	0.75	0.77
11.50	9.60	110.46	0.74	0.76
11.67	9.53	111.19	0.73	0.75
11.83	9.46	111.92	0.73	0.73
12.00	9.39	112.64	0.72	0.72



Πίνακας Π1. 24: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	124.41	20.74	20.74	0.96
0.33	85.57	28.52	7.79	0.97
0.50	68.74	34.37	5.85	0.99
0.67	58.85	39.23	4.86	1.01
0.83	52.17	43.47	4.24	1.02
1.00	47.28	47.28	3.80	1.04
1.17	43.50	50.75	3.47	1.06
1.33	40.48	53.97	3.22	1.08
1.50	37.98	56.97	3.00	1.10
1.67	35.88	59.80	2.83	1.12
1.83	34.08	62.48	2.68	1.15
2.00	32.52	65.03	2.55	1.17
2.17	31.14	67.47	2.44	1.20
2.33	29.92	69.81	2.34	1.23
2.50	28.82	72.06	2.25	1.26
2.67	27.84	74.23	2.17	1.29
2.83	26.94	76.33	2.10	1.33
3.00	26.12	78.37	2.03	1.37
3.17	25.37	80.34	1.97	1.41
3.33	24.68	82.26	1.92	1.46
3.50	24.04	84.13	1.87	1.51
3.67	23.44	85.94	1.82	1.56
3.83	22.88	87.72	1.78	1.63
4.00	22.36	89.45	1.73	1.70
4.17	21.88	91.15	1.70	1.78
4.33	21.42	92.81	1.66	1.87
4.50	20.99	94.43	1.63	1.97
4.67	20.58	96.03	1.59	2.10
4.83	20.19	97.59	1.56	2.25
5.00	19.82	99.12	1.53	2.44
5.17	19.48	100.63	1.51	2.68
5.33	19.15	102.11	1.48	3.00
5.50	18.83	103.57	1.46	3.47
5.67	18.53	105.00	1.43	4.24
5.83	18.24	106.41	1.41	5.85
6.00	17.97	107.80	1.39	20.74

Πίνακας Π1.24: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 25$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	17.70	109.16	1.37	7.79
6.33	17.45	110.51	1.35	4.86
6.50	17.21	111.84	1.33	3.80
6.67	16.97	113.15	1.31	3.22
6.83	16.75	114.44	1.29	2.83
7.00	16.53	115.72	1.28	2.55
7.17	16.32	116.98	1.26	2.34
7.33	16.12	118.22	1.24	2.17
7.50	15.93	119.45	1.23	2.03
7.67	15.74	120.66	1.21	1.92
7.83	15.56	121.86	1.20	1.82
8.00	15.38	123.05	1.19	1.73
8.17	15.21	124.22	1.17	1.66
8.33	15.05	125.38	1.16	1.59
8.50	14.89	126.53	1.15	1.53
8.67	14.73	127.66	1.14	1.48
8.83	14.58	128.79	1.12	1.43
9.00	14.43	129.90	1.11	1.39
9.17	14.29	131.00	1.10	1.35
9.33	14.15	132.09	1.09	1.31
9.50	14.02	133.17	1.08	1.28
9.67	13.89	134.24	1.07	1.24
9.83	13.76	135.30	1.06	1.21
10.00	13.63	136.35	1.05	1.19
10.17	13.51	137.39	1.04	1.16
10.33	13.40	138.42	1.03	1.14
10.50	13.28	139.44	1.02	1.11
10.67	13.17	140.46	1.01	1.09
10.83	13.06	141.46	1.01	1.07
11.00	12.95	142.46	1.00	1.05
11.17	12.85	143.45	0.99	1.03
11.33	12.74	144.43	0.98	1.01
11.50	12.64	145.40	0.97	1.00
11.67	12.55	146.37	0.97	0.98
11.83	12.45	147.33	0.96	0.97
12.00	12.36	148.28	0.95	0.95

Πίνακας Π1. 25: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	153.17	25.53	25.53	1.18
0.33	105.34	35.11	9.59	1.20
0.50	84.63	42.31	7.20	1.22
0.67	72.45	48.30	5.99	1.24
0.83	64.23	53.52	5.22	1.26
1.00	58.21	58.21	4.68	1.28
1.17	53.56	62.48	4.28	1.30
1.33	49.83	66.44	3.96	1.33
1.50	46.76	70.14	3.70	1.36
1.67	44.17	73.62	3.48	1.38
1.83	41.96	76.92	3.30	1.41
2.00	40.03	80.06	3.14	1.44
2.17	38.34	83.07	3.00	1.48
2.33	36.83	85.95	2.88	1.51
2.50	35.49	88.72	2.77	1.55
2.67	34.27	91.39	2.67	1.59
2.83	33.17	93.98	2.58	1.64
3.00	32.16	96.48	2.50	1.68
3.17	31.23	98.91	2.43	1.74
3.33	30.38	101.27	2.36	1.79
3.50	29.59	103.57	2.30	1.85
3.67	28.86	105.81	2.24	1.92
3.83	28.17	108.00	2.19	2.00
4.00	27.53	110.13	2.14	2.09
4.17	26.93	112.22	2.09	2.19
4.33	26.37	114.26	2.04	2.30
4.50	25.84	116.26	2.00	2.43
4.67	25.33	118.22	1.96	2.58
4.83	24.86	120.15	1.92	2.77
5.00	24.41	122.04	1.89	3.00
5.17	23.98	123.89	1.85	3.30
5.33	23.57	125.71	1.82	3.70
5.50	23.18	127.51	1.79	4.28
5.67	22.81	129.27	1.76	5.22
5.83	22.46	131.00	1.74	7.20
6.00	22.12	132.71	1.71	25.53

Πίνακας Π1. 25: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 50$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	21.79	134.40	1.68	9.59
6.33	21.48	136.05	1.66	5.99
6.50	21.18	137.69	1.64	4.68
6.67	20.90	139.30	1.61	3.96
6.83	20.62	140.89	1.59	3.48
7.00	20.35	142.47	1.57	3.14
7.17	20.10	144.02	1.55	2.88
7.33	19.85	145.55	1.53	2.67
7.50	19.61	147.06	1.51	2.50
7.67	19.38	148.55	1.49	2.36
7.83	19.15	150.03	1.48	2.24
8.00	18.94	151.49	1.46	2.14
8.17	18.73	152.93	1.44	2.04
8.33	18.52	154.36	1.43	1.96
8.50	18.33	155.77	1.41	1.89
8.67	18.14	157.17	1.40	1.82
8.83	17.95	158.56	1.38	1.76
9.00	17.77	159.92	1.37	1.71
9.17	17.59	161.28	1.36	1.66
9.33	17.42	162.62	1.34	1.61
9.50	17.26	163.95	1.33	1.57
9.67	17.10	165.27	1.32	1.53
9.83	16.94	166.57	1.30	1.49
10.00	16.79	167.87	1.29	1.46
10.17	16.64	169.15	1.28	1.43
10.33	16.49	170.42	1.27	1.40
10.50	16.35	171.68	1.26	1.37
10.67	16.21	172.92	1.25	1.34
10.83	16.08	174.16	1.24	1.32
11.00	15.94	175.39	1.23	1.29
11.17	15.82	176.61	1.22	1.27
11.33	15.69	177.81	1.21	1.25
11.50	15.57	179.01	1.20	1.23
11.67	15.45	180.20	1.19	1.21
11.83	15.33	181.38	1.18	1.19
12.00	15.21	182.55	1.17	1.17

Πίνακας Π1. 26: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	188.57	31.43	31.43	1.45
0.33	129.69	43.23	11.80	1.48
0.50	104.19	52.10	8.86	1.50
0.67	89.20	59.47	7.37	1.52
0.83	79.07	65.89	6.43	1.55
1.00	71.66	71.66	5.76	1.58
1.17	65.94	76.93	5.27	1.61
1.33	61.35	81.80	4.87	1.64
1.50	57.57	86.35	4.55	1.67
1.67	54.38	90.64	4.29	1.70
1.83	51.66	94.70	4.06	1.74
2.00	49.29	98.57	3.87	1.78
2.17	47.20	102.27	3.70	1.82
2.33	45.35	105.81	3.55	1.86
2.50	43.69	109.23	3.41	1.91
2.67	42.19	112.52	3.29	1.96
2.83	40.83	115.70	3.18	2.01
3.00	39.59	118.78	3.08	2.07
3.17	38.45	121.77	2.99	2.14
3.33	37.40	124.68	2.91	2.21
3.50	36.43	127.51	2.83	2.28
3.67	35.53	130.27	2.76	2.37
3.83	34.68	132.96	2.69	2.46
4.00	33.90	135.59	2.63	2.57
4.17	33.16	138.16	2.57	2.69
4.33	32.46	140.67	2.52	2.83
4.50	31.81	143.14	2.46	2.99
4.67	31.19	145.55	2.41	3.18
4.83	30.60	147.92	2.37	3.41
5.00	30.05	150.24	2.32	3.70
5.17	29.52	152.53	2.28	4.06
5.33	29.02	154.77	2.24	4.55
5.50	28.54	156.98	2.21	5.27
5.67	28.09	159.15	2.17	6.43
5.83	27.65	161.29	2.14	8.86
6.00	27.23	163.39	2.10	31.43

Πίνακας Π1. 26: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 100$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	26.83	165.46	2.07	11.80
6.33	26.45	167.50	2.04	7.37
6.50	26.08	169.52	2.01	5.76
6.67	25.73	171.50	1.99	4.87
6.83	25.38	173.46	1.96	4.29
7.00	25.06	175.40	1.93	3.87
7.17	24.74	177.30	1.91	3.55
7.33	24.43	179.19	1.88	3.29
7.50	24.14	181.05	1.86	3.08
7.67	23.86	182.89	1.84	2.91
7.83	23.58	184.71	1.82	2.76
8.00	23.31	186.51	1.80	2.63
8.17	23.06	188.28	1.78	2.52
8.33	22.81	190.04	1.76	2.41
8.50	22.56	191.78	1.74	2.32
8.67	22.33	193.50	1.72	2.24
8.83	22.10	195.20	1.70	2.17
9.00	21.88	196.89	1.69	2.10
9.17	21.66	198.56	1.67	2.04
9.33	21.45	200.21	1.65	1.99
9.50	21.25	201.85	1.64	1.93
9.67	21.05	203.47	1.62	1.88
9.83	20.86	205.08	1.61	1.84
10.00	20.67	206.67	1.59	1.80
10.17	20.48	208.25	1.58	1.76
10.33	20.30	209.81	1.56	1.72
10.50	20.13	211.36	1.55	1.69
10.67	19.96	212.90	1.54	1.65
10.83	19.79	214.42	1.52	1.62
11.00	19.63	215.93	1.51	1.59
11.17	19.47	217.43	1.50	1.56
11.33	19.32	218.92	1.49	1.54
11.50	19.16	220.39	1.48	1.51
11.67	19.02	221.85	1.46	1.49
11.83	18.87	223.31	1.45	1.46
12.00	18.73	224.75	1.44	1.44

Πίνακας Π1.27: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	376.25	62.71	62.71	2.90
0.33	258.77	86.26	23.55	2.94
0.50	207.89	103.94	17.69	2.99
0.67	177.98	118.65	14.71	3.04
0.83	157.77	131.48	12.83	3.09
1.00	142.98	142.98	11.50	3.15
1.17	131.56	153.49	10.51	3.20
1.33	122.41	163.21	9.72	3.27
1.50	114.86	172.30	9.09	3.33
1.67	108.51	180.85	8.56	3.40
1.83	103.07	188.96	8.11	3.47
2.00	98.34	196.67	7.72	3.55
2.17	94.18	204.05	7.38	3.63
2.33	90.48	211.13	7.08	3.72
2.50	87.17	217.93	6.81	3.81
2.67	84.19	224.50	6.57	3.91
2.83	81.48	230.85	6.35	4.02
3.00	79.00	237.00	6.15	4.13
3.17	76.73	242.97	5.97	4.26
3.33	74.63	248.77	5.80	4.40
3.50	72.69	254.42	5.65	4.56
3.67	70.89	259.92	5.50	4.73
3.83	69.21	265.29	5.37	4.92
4.00	67.63	270.53	5.24	5.13
4.17	66.16	275.66	5.13	5.37
4.33	64.77	280.68	5.02	5.65
4.50	63.47	285.59	4.92	5.97
4.67	62.23	290.41	4.82	6.35
4.83	61.06	295.14	4.73	6.81
5.00	59.96	299.78	4.64	7.38
5.17	58.90	304.33	4.56	8.11
5.33	57.90	308.81	4.48	9.09
5.50	56.95	313.21	4.40	10.51
5.67	56.04	317.54	4.33	12.83
5.83	55.17	321.81	4.26	17.69
6.00	54.33	326.00	4.20	62.71

Πίνακας Π1.27: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 1000$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	53.54	330.14	4.13	23.55
6.33	52.77	334.21	4.07	14.71
6.50	52.04	338.23	4.02	11.50
6.67	51.33	342.19	3.96	9.72
6.83	50.65	346.10	3.91	8.56
7.00	49.99	349.96	3.86	7.72
7.17	49.36	353.77	3.81	7.08
7.33	48.75	357.53	3.76	6.57
7.50	48.17	361.24	3.72	6.15
7.67	47.60	364.91	3.67	5.80
7.83	47.05	368.54	3.63	5.50
8.00	46.52	372.13	3.59	5.24
8.17	46.00	375.68	3.55	5.02
8.33	45.50	379.18	3.51	4.82
8.50	45.02	382.65	3.47	4.64
8.67	44.55	386.09	3.43	4.48
8.83	44.09	389.48	3.40	4.33
9.00	43.65	392.85	3.36	4.20
9.17	43.22	396.18	3.33	4.07
9.33	42.80	399.47	3.30	3.96
9.50	42.39	402.74	3.27	3.86
9.67	42.00	405.98	3.23	3.76
9.83	41.61	409.18	3.20	3.67
10.00	41.24	412.36	3.18	3.59
10.17	40.87	415.50	3.15	3.51
10.33	40.51	418.62	3.12	3.43
10.50	40.16	421.72	3.09	3.36
10.67	39.82	424.78	3.07	3.30
10.83	39.49	427.82	3.04	3.23
11.00	39.17	430.84	3.02	3.18
11.17	38.85	433.83	2.99	3.12
11.33	38.54	436.79	2.97	3.07
11.50	38.24	439.74	2.94	3.02
11.67	37.94	442.66	2.92	2.97
11.83	37.65	445.56	2.90	2.92
12.00	37.37	448.43	2.88	2.88



Πίνακας Π1.28: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  έτη και  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00		0.00		
0.17	750.71	125.12	125.12	5.78
0.33	516.32	172.11	46.99	5.87
0.50	414.79	207.40	35.29	5.97
0.67	355.11	236.74	29.34	6.07
0.83	314.80	262.33	25.59	6.17
1.00	285.28	285.28	22.95	6.28
1.17	262.50	306.24	20.96	6.39
1.33	244.23	325.64	19.40	6.52
1.50	229.18	343.78	18.13	6.64
1.67	216.51	360.85	17.07	6.78
1.83	205.65	377.02	16.17	6.92
2.00	196.21	392.42	15.40	7.08
2.17	187.91	407.13	14.72	7.24
2.33	180.54	421.25	14.12	7.41
2.50	173.93	434.84	13.58	7.60
2.67	167.98	447.94	13.10	7.80
2.83	162.57	460.61	12.67	8.02
3.00	157.63	472.88	12.27	8.25
3.17	153.09	484.79	11.91	8.50
3.33	148.91	496.36	11.57	8.78
3.50	145.04	507.63	11.27	9.09
3.67	141.44	518.61	10.98	9.43
3.83	138.08	529.32	10.71	9.81
4.00	134.95	539.78	10.46	10.23
4.17	132.00	550.02	10.23	10.71
4.33	129.24	560.03	10.01	11.27
4.50	126.63	569.84	9.81	11.91
4.67	124.17	579.45	9.61	12.67
4.83	121.84	588.88	9.43	13.58
5.00	119.63	598.13	9.26	14.72
5.17	117.53	607.22	9.09	16.17
5.33	115.53	616.16	8.93	18.13
5.50	113.63	624.94	8.78	20.96
5.67	111.81	633.58	8.64	25.59
5.83	110.07	642.09	8.50	35.29
6.00	108.41	650.46	8.37	125.12

Πίνακας Π1.28: Υετόγραμμα σχεδιασμού για  $T = 10000$  έτη και  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
6.17	106.82	658.71	8.25	46.99
6.33	105.29	666.84	8.13	29.34
6.50	103.82	674.86	8.02	22.95
6.67	102.41	682.76	7.91	19.40
6.83	101.06	690.56	7.80	17.07
7.00	99.75	698.26	7.70	15.40
7.17	98.49	705.86	7.60	14.12
7.33	97.28	713.36	7.50	13.10
7.50	96.10	720.78	7.41	12.27
7.67	94.97	728.10	7.32	11.57
7.83	93.87	735.34	7.24	10.98
8.00	92.81	742.50	7.16	10.46
8.17	91.78	749.57	7.08	10.01
8.33	90.79	756.57	7.00	9.61
8.50	89.82	763.49	6.92	9.26
8.67	88.89	770.34	6.85	8.93
8.83	87.98	777.12	6.78	8.64
9.00	87.09	783.83	6.71	8.37
9.17	86.23	790.48	6.64	8.13
9.33	85.40	797.06	6.58	7.91
9.50	84.59	803.57	6.52	7.70
9.67	83.80	810.03	6.45	7.50
9.83	83.03	816.42	6.39	7.32
10.00	82.28	822.76	6.34	7.16
10.17	81.54	829.04	6.28	7.00
10.33	80.83	835.26	6.22	6.85
10.50	80.14	841.43	6.17	6.71
10.67	79.46	847.55	6.12	6.58
10.83	78.80	853.62	6.07	6.45
11.00	78.15	859.63	6.02	6.34
11.17	77.52	865.60	5.97	6.22
11.33	76.90	871.52	5.92	6.12
11.50	76.29	877.39	5.87	6.02
11.67	75.70	883.22	5.83	5.92
11.83	75.13	889.00	5.78	5.83
12.00	74.56	894.74	5.74	5.74

## Παράρτημα 2: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο της λεκάνης

Πίνακας Π2. 1: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ
0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00
0.33	0.30	0.56	1.10
0.50	0.43	0.56	0.74
0.67	3.74	4.68	6.27
0.83	2.18	2.67	3.66
1.00	1.41	1.77	2.67
1.17	1.10	1.47	2.63
1.33	0.28	0.40	0.79
1.50	0.1	0.16	0.35
1.67	0.04	0.07	0.20
1.83	0.02	0.04	0.13
2.00	0.02	0.02	0.08
2.17	0.01	0.01	0.05
2.33	0.01	0.01	0.04
2.50	0.01	0.01	0.02
2.67	0.00	0.00	0.01
2.83	0.00	0.00	0.01
3.00	0.00	0.00	0.00
3.17	0.00	0.00	0.00
3.33	0.00	0.00	0.00
3.50	0.00	0.00	0.00
3.67	0.00	0.00	0.00
3.83	0.00	0.00	0.00
4.00	0.00	0.00	0.00
4.17	0.00	0.00	0.00
4.17	0.00	0.00	0.00
4.33	0.00	0.00	0.00
4.50	0.00	0.00	0.00
4.67	0.00	0.00	0.00
4.83	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	0.00	0.00
5.17	0.00	0.00	0.00
5.33	0.00	0.00	0.00
5.50	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π2. 1: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 1$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
5.67	0.00	0.00	0.00
5.83	0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π2. 2: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00
0.33	0.04	0.06	0.15
0.50	0.04	0.08	0.16
0.67	0.01	0.06	0.09
0.83	0.01	0.06	0.09
1.00	0.04	0.08	0.11
1.17	0.09	0.12	0.18
1.33	0.17	0.19	0.28
1.50	0.49	0.44	0.59
1.67	3.65	4.67	6.25
1.83	2.15	2.67	3.65
2.00	1.4	1.77	2.67
2.17	1.09	1.47	2.63
2.33	0.95	1.34	2.72
2.50	0.89	1.33	2.75
2.67	0.84	1.4	2.73
2.83	0.82	1.48	2.68
3.00	0.81	1.52	2.61
3.17	0.81	1.53	2.54
3.33	0.36	0.76	1.29
3.50	0.2	0.42	0.77
3.67	0.13	0.26	0.5
3.83	0.1	0.19	0.37
4.00	0.08	0.15	0.29
4.17	0.06	0.13	0.25
4.33	0.05	0.1	0.21
4.50	0.04	0.09	0.18
4.67	0.03	0.07	0.16
4.83	0.02	0.06	0.14
5.00	0.02	0.05	0.12
5.17	0.01	0.04	0.11
5.33	0.01	0.04	0.09
5.50	0.01	0.03	0.08

Πίνακας Π2.2: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 3$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
5.67	0.00	0.00	0.00
5.83	0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π2.3: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 6$  h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00
0.33	0.02	0.04	0.05
0.50	0.03	0.04	0.05
0.67	0.01	0.01	0.01
0.83	0.01	0.01	0.01
1.00	0.00	0.01	0.01
1.17	0.00	0.00	0.01
1.33	0.00	0.00	0.02
1.50	0.00	0.00	0.03
1.67	0.00	0.00	0.03
1.83	0.00	0.01	0.03
2.00	0.00	0.01	0.06
2.17	0.01	0.04	0.06
2.33	0.01	0.06	0.08
2.50	0.04	0.08	0.11
2.67	0.08	0.12	0.18
2.83	0.16	0.19	0.27
3.00	0.34	0.43	0.59
3.17	3.72	4.67	6.25
3.33	2.18	2.67	3.65
3.50	1.41	1.77	2.67
3.67	1.10	1.47	2.63
3.83	0.96	1.34	2.72
4.00	0.89	1.33	2.75
4.17	0.84	1.40	2.73
4.33	0.82	1.48	2.68
4.50	0.81	1.52	2.61
4.67	0.83	1.53	2.54
4.83	0.87	1.55	2.47
5.00	0.92	1.54	2.41
5.17	0.96	1.53	2.36
5.33	0.98	1.50	2.29
5.50	0.99	1.49	2.23

Πίνακας Π2.3: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 6$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
5.67	1.00	1.46	2.17
5.83	1.00	1.44	2.14
6.00	1.00	1.43	2.08

Πίνακας Π2.4: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00
0.33	0.01	0.02	0.02
0.50	0.01	0.02	0.04
0.67	0.01	0.01	0.01
0.83	0.00	0.00	0.01
1.00	0.00	0.00	0.00
1.17	0.00	0.00	0.00
1.33	0.00	0.00	0.00
1.50	0.00	0.00	0.00
1.67	0.00	0.00	0.00
1.83	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00
2.17	0.00	0.00	0.00
2.33	0.00	0.00	0.00
2.50	0.00	0.00	0.00
2.67	0.00	0.00	0.00
2.83	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00
3.17	0.00	0.00	0.00
3.33	0.00	0.00	0.00
3.50	0.00	0.00	0.00
3.67	0.00	0.00	0.00
3.83	0.00	0.00	0.00
4.00	0.00	0.00	0.00
4.17	0.00	0.00	0.01
4.33	0.00	0.00	0.02
4.50	0.00	0.00	0.02
4.67	0.00	0.00	0.03
4.83	0.00	0.00	0.03
5.00	0.00	0.01	0.06
5.17	0.00	0.04	0.06
5.33	0.01	0.06	0.08
5.50	0.04	0.08	0.11

Πίνακας Π2.4: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο σημείο εκβολής της αστικής λεκάνης για  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH
5.67	0.07	0.12	0.18
5.83	0.14	0.19	0.27
6.00	0.30	0.43	0.59
6.17	3.28	4.67	6.25
6.33	1.94	2.67	3.65
6.50	1.26	1.77	2.67
6.67	0.98	1.47	2.63
6.83	0.86	1.34	2.72
7.00	0.80	1.33	2.75
7.17	0.76	1.40	2.73
7.33	0.75	1.48	2.68
7.50	0.75	1.52	2.61
7.67	0.76	1.53	2.54
7.83	0.80	1.55	2.47
8.00	0.84	1.54	2.41
8.17	0.87	1.53	2.36
8.33	0.88	1.50	2.29
8.50	0.88	1.49	2.23
8.67	0.89	1.46	2.17
8.83	0.89	1.44	2.14
9.00	0.89	1.43	2.08
9.17	0.89	1.39	2.04
9.33	0.89	1.37	1.99
9.50	0.88	1.35	1.96
9.67	0.88	1.33	1.93
9.83	0.87	1.30	1.87
10.00	0.86	1.28	1.84
10.17	0.84	1.27	1.82
10.33	0.83	1.25	1.78
10.50	0.83	1.24	1.76
10.67	0.82	1.21	1.73
10.83	0.82	1.19	1.70
11.00	0.80	1.18	1.67
11.17	0.80	1.17	1.64
11.33	0.78	1.14	1.62
11.50	0.76	1.13	1.60
11.67	0.75	1.12	1.56
11.83	0.75	1.09	1.54
12.00	0.75	1.08	1.52





## Παράρτημα 3: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο της λεκάνης του δυαδικού συστήματος

Πίνακας Π3.1: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο ρέμα της Ραφήνας  $t = 1$  h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.28	0.53	1.08	1.60	2.19	5.10	10.81
0.50	0.43	0.55	0.73	0.92	1.13	2.24	5.05
0.67	3.73	4.68	6.26	7.83	9.88	21.53	74.38
0.83	2.18	2.67	3.66	4.93	7.44	25.19	68.39
1.00	1.41	1.77	2.67	4.33	6.81	21.86	51.12
1.17	1.10	1.48	2.63	4.32	6.44	18.83	42.23
1.33	0.29	0.40	0.79	1.46	2.28	6.67	20.36
1.50	0.10	0.16	0.35	0.63	1.05	3.44	7.85
1.67	0.04	0.07	0.20	0.39	0.63	2.18	5.08
1.83	0.02	0.04	0.13	0.26	0.46	1.62	3.62
2.00	0.02	0.02	0.09	0.19	0.35	1.28	2.80
2.17	0.01	0.01	0.06	0.14	0.28	1.05	2.23
2.33	0.01	0.01	0.04	0.11	0.22	0.87	1.82
2.50	0.01	0.01	0.02	0.08	0.17	0.73	1.51
2.67	0.00	0.00	0.01	0.06	0.14	0.61	1.27
2.83	0.00	0.00	0.01	0.04	0.11	0.52	1.07
3.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.44	0.91
3.17	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.38	0.80
3.33	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.33	0.71
3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.30	0.63
3.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.28	0.57
3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.26	0.51
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.24	0.46
4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.22	0.42
4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21	0.38
4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.19	0.35
4.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.18	0.32
4.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.17	0.30
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.16	0.27
5.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.15	0.25
5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.23
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	0.22
5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.20
5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.19

Πίνακας Π3.1: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο ρέμα της Ραφήνας  $t = 1$  h  
(συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.18

Πίνακας Π3.2: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο ρέμα της Ραφήνας  $t = 3$  h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.04	0.06	0.14	0.26	0.50	2.16	5.03
0.50	0.04	0.08	0.16	0.21	0.25	0.47	0.78
0.67	0.02	0.06	0.09	0.12	0.15	0.29	0.56
0.83	0.01	0.06	0.09	0.12	0.15	0.31	0.63
1.00	0.04	0.08	0.11	0.15	0.19	0.40	0.83
1.17	0.08	0.12	0.18	0.21	0.27	0.58	1.19
1.33	0.14	0.19	0.27	0.35	0.42	0.94	2.02
1.50	0.33	0.42	0.58	0.74	0.95	2.01	4.77
1.67	3.72	4.66	6.24	7.81	9.86	21.51	74.28
1.83	2.18	2.67	3.66	4.92	7.43	25.18	68.38
2.00	1.41	1.77	2.67	4.33	6.81	21.86	51.12
2.17	1.10	1.48	2.63	4.32	6.44	18.83	42.23
2.33	0.96	1.34	2.72	4.22	6.05	16.85	36.78
2.50	0.89	1.33	2.75	4.08	5.67	15.07	32.30
2.67	0.84	1.40	2.73	3.92	5.34	13.05	29.24
2.83	0.82	1.48	2.68	3.75	5.07	12.14	26.63
3.00	0.81	1.52	2.61	3.60	4.83	11.38	24.61
3.17	0.83	1.53	2.54	3.47	4.61	10.74	23.01
3.33	0.37	0.76	1.29	1.77	2.35	5.21	13.93
3.50	0.20	0.42	0.77	1.08	1.47	3.31	6.06
3.67	0.13	0.26	0.50	0.72	1.01	2.32	4.22
3.83	0.10	0.19	0.37	0.54	0.76	1.75	3.14
4.00	0.08	0.15	0.29	0.43	0.62	1.38	2.41
4.17	0.06	0.13	0.25	0.37	0.51	1.13	1.93
4.33	0.05	0.10	0.21	0.32	0.44	0.95	1.58
4.50	0.04	0.09	0.18	0.28	0.39	0.82	1.33
4.67	0.03	0.07	0.16	0.24	0.34	0.71	1.13
4.83	0.02	0.06	0.14	0.21	0.30	0.62	0.98
5.00	0.02	0.05	0.12	0.19	0.26	0.55	0.85
5.17	0.01	0.04	0.11	0.17	0.23	0.49	0.74
5.33	0.01	0.04	0.09	0.15	0.21	0.43	0.66
5.50	0.01	0.03	0.08	0.13	0.18	0.38	0.58
5.67	0.00	0.03	0.07	0.12	0.17	0.34	0.52
5.83	0.00	0.02	0.06	0.10	0.15	0.31	0.46
6.00	0.00	0.02	0.05	0.09	0.13	0.28	0.41

Πίνακας Π3.3: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο ρέμα της Ραφήνας  $t = 6 \text{ h}$

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.02	0.02	0.04	0.08	0.15	1.09	3.14
0.50	0.03	0.04	0.04	0.08	0.15	0.29	0.50
0.67	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06	0.13	0.22
0.83	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.10	0.17
1.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.10	0.17
1.17	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.09	0.19
1.33	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.10	0.20
1.50	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.10	0.23
1.67	0.00	0.00	0.03	0.03	0.06	0.13	0.26
1.83	0.00	0.01	0.03	0.06	0.07	0.14	0.31
2.00	0.00	0.01	0.06	0.06	0.08	0.19	0.38
2.17	0.00	0.04	0.06	0.08	0.09	0.22	0.46
2.33	0.01	0.06	0.08	0.09	0.13	0.28	0.60
2.50	0.04	0.08	0.11	0.14	0.18	0.39	0.82
2.67	0.08	0.12	0.17	0.21	0.27	0.57	1.19
2.83	0.14	0.19	0.27	0.34	0.42	0.94	2.02
3.00	0.33	0.42	0.58	0.74	0.95	2.01	4.77
3.17	3.72	4.66	6.24	7.81	9.86	21.51	74.26
3.33	2.18	2.67	3.66	4.92	7.43	25.18	68.38
3.50	1.41	1.77	2.67	4.33	6.81	21.86	51.12
3.67	1.10	1.48	2.63	4.32	6.44	18.83	42.23
3.83	0.96	1.34	2.72	4.22	6.05	16.84	36.78
4.00	0.89	1.33	2.75	4.08	5.67	15.07	32.30
4.17	0.84	1.40	2.73	3.92	5.34	13.05	29.25
4.33	0.82	1.48	2.68	3.75	5.07	12.14	26.63
4.50	0.81	1.52	2.61	3.60	4.83	11.38	24.61
4.67	0.83	1.53	2.54	3.47	4.61	10.74	23.01
4.83	0.87	1.55	2.47	3.35	4.44	10.19	21.64
5.00	0.92	1.54	2.41	3.23	4.27	9.70	20.51
5.17	0.96	1.53	2.36	3.14	4.11	9.26	19.59
5.33	0.98	1.50	2.29	3.04	3.98	8.89	18.79
5.50	0.99	1.49	2.23	2.96	3.85	8.54	18.08
5.67	1.00	1.46	2.17	2.88	3.75	8.22	17.30
5.83	1.00	1.44	2.14	2.79	3.62	7.95	16.49
6.00	1.00	1.43	2.08	2.74	3.53	7.67	16.22

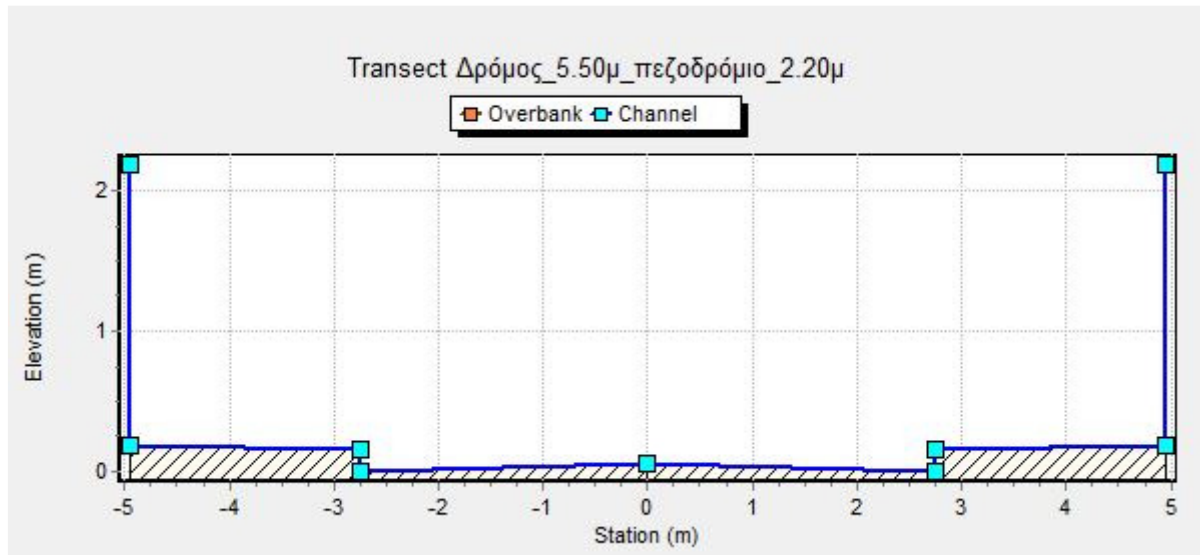
Πίνακας Π3.4: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο ρέμα της Ραφήνας  $t = 12$  h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.39	1.89
0.50	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.20	0.35
2.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.12
0.83	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.07
3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05
1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04
1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.06
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.06
2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07
7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07
2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07
8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.08
2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09
9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09
3.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.09
10.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.10
3.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.10
11.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.13
3.83	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.07	0.14
12.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.08	0.15
4.17	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.08	0.18
13.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.09	0.20
4.50	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.10	0.22
14.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.06	0.12	0.26
4.83	0.00	0.00	0.03	0.06	0.07	0.14	0.31
15.00	0.00	0.01	0.06	0.06	0.08	0.18	0.38
5.17	0.00	0.04	0.06	0.08	0.09	0.21	0.46
16.00	0.01	0.06	0.08	0.09	0.13	0.28	0.60
5.50	0.04	0.08	0.11	0.14	0.18	0.38	0.82
17.00	0.08	0.12	0.17	0.21	0.27	0.56	1.19
5.83	0.14	0.19	0.27	0.34	0.42	0.95	2.02
6.00	0.33	0.42	0.58	0.74	0.95	2.01	4.77

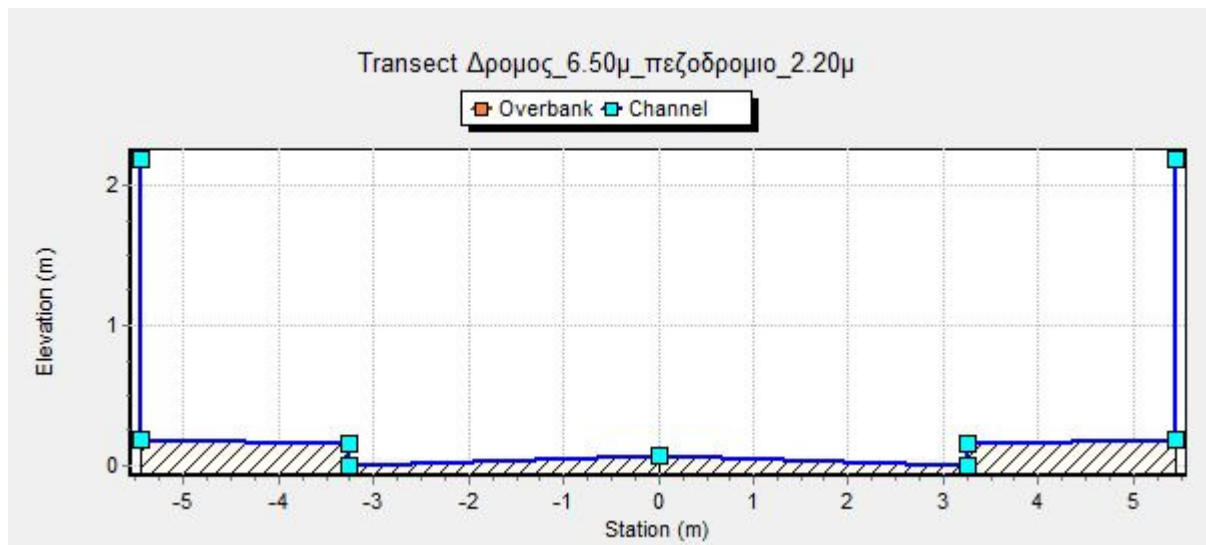
Πίνακας Π3.4: Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στο ρέμα της Ραφήνας  $t = 12$  h (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
6.17	3.72	4.66	6.24	7.81	9.86	21.51	74.28
6.33	2.18	2.67	3.66	4.92	7.43	25.18	68.38
6.50	1.41	1.77	2.67	4.33	6.81	21.86	51.12
6.67	1.10	1.48	2.63	4.32	6.44	18.83	42.23
6.83	0.96	1.34	2.72	4.22	6.05	16.84	36.78
7.00	0.89	1.33	2.75	4.08	5.67	15.07	32.30
7.17	0.84	1.40	2.73	3.92	5.34	13.05	29.24
7.33	0.82	1.48	2.68	3.75	5.07	12.14	26.63
7.50	0.81	1.52	2.61	3.60	4.83	11.38	24.61
7.67	0.83	1.53	2.54	3.47	4.61	10.74	23.01
7.83	0.87	1.55	2.47	3.35	4.44	10.19	21.64
8.00	0.92	1.54	2.41	3.23	4.27	9.70	20.51
8.17	0.96	1.53	2.36	3.14	4.11	9.26	19.59
8.33	0.98	1.50	2.29	3.04	3.98	8.89	18.79
8.50	0.99	1.49	2.23	2.96	3.85	8.54	18.08
8.67	1.00	1.46	2.17	2.88	3.75	8.22	17.30
8.83	1.00	1.44	2.14	2.79	3.62	7.95	16.49
9.00	1.00	1.43	2.08	2.74	3.53	7.67	16.22
9.17	1.00	1.39	2.04	2.67	3.45	7.44	15.08
9.33	1.00	1.37	1.99	2.60	3.35	7.22	14.61
9.50	0.98	1.35	1.96	2.55	3.26	7.01	14.19
9.67	0.98	1.33	1.93	2.49	3.20	6.82	13.79
9.83	0.97	1.30	1.87	2.45	3.12	6.64	13.43
10.00	0.95	1.28	1.84	2.39	3.04	6.47	13.08
10.17	0.94	1.27	1.82	2.34	2.99	6.33	12.77
10.33	0.93	1.25	1.78	2.30	2.92	6.18	12.49
10.50	0.93	1.24	1.76	2.25	2.87	6.05	12.20
10.67	0.91	1.21	1.73	2.21	2.80	5.91	11.93
10.83	0.91	1.19	1.70	2.19	2.76	5.80	11.70
11.00	0.89	1.18	1.67	2.13	2.71	5.68	11.46
11.17	0.88	1.17	1.64	2.09	2.66	5.58	11.24
11.33	0.86	1.14	1.62	2.07	2.62	5.47	11.02
11.50	0.85	1.13	1.60	2.03	2.57	5.38	10.84
11.67	0.84	1.12	1.56	2.00	2.53	5.30	10.66
11.83	0.84	1.09	1.54	1.97	2.49	5.20	10.49
12.00	0.83	1.08	1.52	1.96	2.45	5.11	10.31

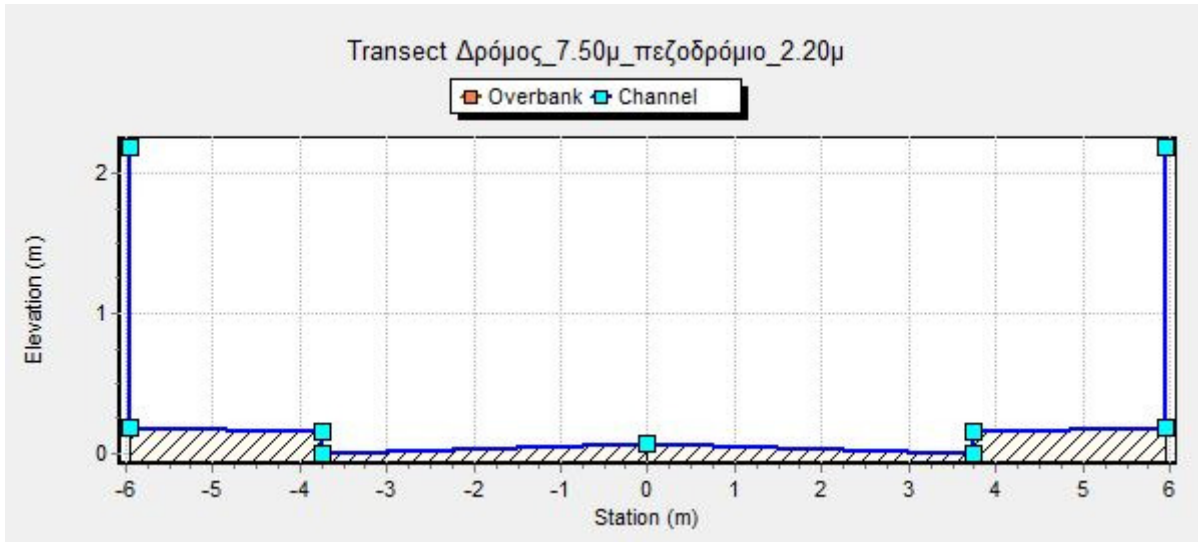
## Παράρτημα 4: Διατομές επιφανειακών αγωγών



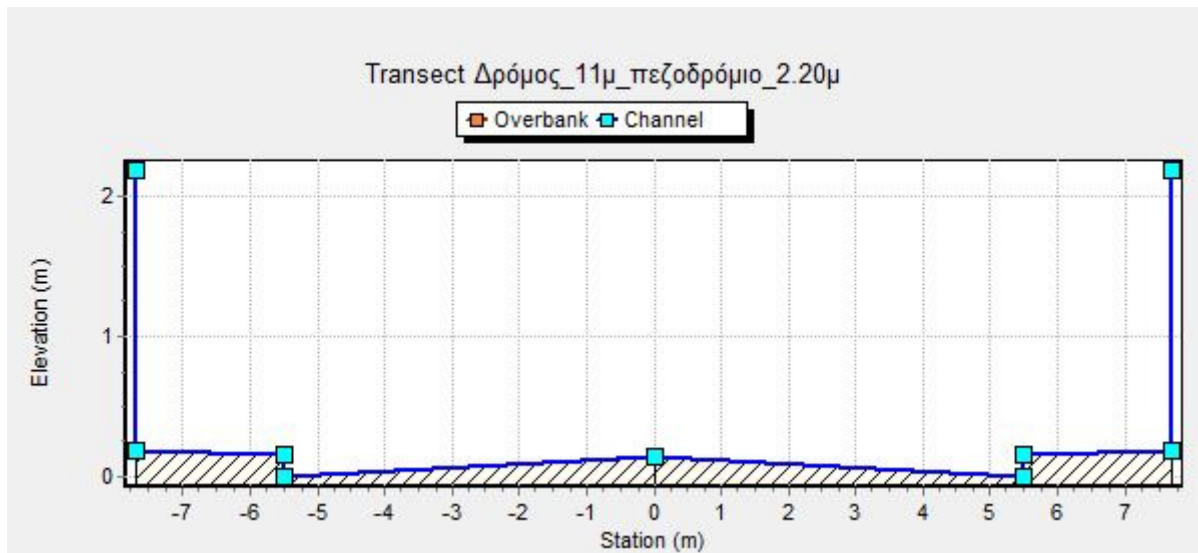
Σχήμα Π4. 1: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 5.50m και πλάτος πεζοδρομίου 2.20m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.



Σχήμα Π4. 2: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 6.50m και πλάτος πεζοδρομίου 2.20m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.

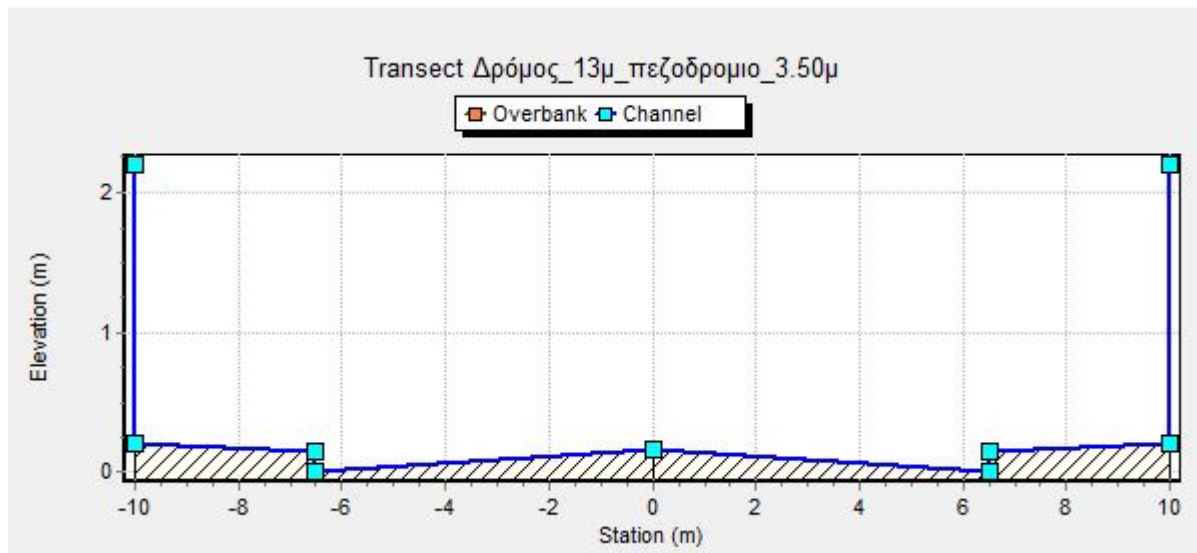


Σχήμα Π4. 3: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 7.50m και πλάτος πεζοδρομίου 2.20m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM



Σχήμα Π4. 4: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 11.00m και πλάτος πεζοδρομίου 2.20m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM





Σχήμα Π4. 5: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 13.00m και πλάτος πεζοδρομίου 3.50m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM



## Παράρτημα 5: Χάρτες αναπαράστασης του συνολικού δικτύου

---

