



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες απορροής: Η περίπτωση των λεκανών Ψυχικού-Φιλοθέης



Τσεκούρα Χαρίκλεια

Επιβλέπων: Ι. Ναλμπάντης, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	v
Περίληψη	vi
Abstract	viii
Κατάλογος συμβόλων	ix
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	2
2 Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμύρας	3
2.1 Γενικά	3
2.2 Προσδιορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού	3
2.2.1 Όμβριες καμπύλες	3
2.2.2 Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού	5
2.3 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης χωρίς δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων	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	12
2.3.5 Το υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος και οι συνιστώσες του	12
2.3.6 Διόδευση πλημμύρας σε μη αστική λεκάνη	14
2.4 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης με δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων	16
2.4.1 Γενικά	16
2.4.2 Βασικές εξισώσεις μόνιμης ροής	17
2.4.3 Απώλειες τριβής	18
2.4.4 Υπολογισμός ομοιόμορφης ροής σε σωλήνες κυκλικής διατομής	19
2.4.5 Βήματα σχεδιασμού και προδιαγραφές αγωγών αποχέτευσης ομβρίων σε συνθήκες μόνιμης ροής	21
2.4.6 Μοντελοποίηση λειτουργίας δικτύου ομβρίων υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής	23
2.4.7 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής με ελεύθερη επιφάνεια	23
2.4.8 Κρίσιμο βάθος και ιδιότητες υποκρίσιμης και υπερκρίσιμης ροής	25
2.4.9 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής υπό πίεση για ασυμπίεστα ρευστά	28
2.4.10 Διόδευση δυναμικού κύματος	28
2.4.11 Διόδευση κινηματικού κύματος	29
2.5 Διαθέσιμο λογισμικό	30
2.5.1 Εισαγωγή	30
2.5.2 HEC-1	30
2.5.3 TR-20 και TR-55	31

2.5.4	SSARR.....	31
2.5.5	HYDRA	32
2.5.6	HEC-2	32
2.5.7	UNET.....	33
3	Το λογισμικό SWMM	34
3.1.1	Γενικά.....	34
3.1.2	Δυνατότητες του μοντέλου	34
3.1.3	Τυπικές εφαρμογές του SWMM.....	35
3.2	Αντίληψη μοντέλου	35
3.3	Οπτικά αντικείμενα	36
3.3.1	Βροχογράφοι (Rain Gages).....	36
3.3.2	Υπολεκάνες (Subcatchments).....	37
3.3.3	Κόμβοι (Junction Nodes).....	37
3.3.4	Κόμβοι εκβολής (Outfall Nodes).....	37
3.3.5	Αγωγοί (Conduits).....	38
3.4	Μη οπτικά αντικείμενα.....	39
3.4.1	Χρονοσειρές (Time Series).....	39
3.4.2	Εγκάρσιες τομές (Transects).....	39
3.5	Υπολογιστικές μέθοδοι.....	40
3.5.1	Επιφανειακή απορροή.....	40
3.5.2	Διήθηση.....	40
3.5.3	Διόδευση ομοιόμορφης ροής	41
3.5.4	Διόδευση κινηματικού κύματος.....	41
3.5.5	Διόδευση δυναμικού κύματος.....	41
3.5.6	Επιφανειακή Λίμναση (Surface Ponding).....	42
3.6	Επιλογές προσομοίωσης.....	42
3.6.1	Γενικές επιλογές (General Options).....	42
3.6.2	Επιλογές χρόνων έναρξης και λήξης της πλημμύρας (Date Options).....	43
3.6.3	Επιλογές χρονικού βήματος (Time Step Options)	43
3.6.4	Επιλογές για την διόδευση δυναμικού κύματος.....	44
4	Η περιοχή μελέτης	45
4.1	Γενική περιγραφή	45
4.2	Η κατάσταση της περιοχής μελέτης προ της αστικοποίησης	46
4.2.1	Περιγραφή του προβλήματος.....	46
4.2.2	Αναπαράσταση της μη αστικής λεκάνης στο λογισμικό του SWMM.....	46
4.2.3	Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης μη αστικής λεκάνης	48
4.3	Η κατάσταση με την πρόσφατη αναβάθμιση του συστήματος αποχέτευσης ομβρίων	48
4.3.1	Περιγραφή του προβλήματος.....	48
4.3.2	Βασικές παραδοχές της μελέτης	49
4.3.3	Πορεία εργασιών.....	50

4.3.4	Καταχώρηση χαρακτηριστικών παραμέτρων αστικών λεκανών στο SWMM.	51
4.3.5	Υδρολογικές λεκάνες περιοχής μελέτης	52
4.3.6	Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης	57
4.3.7	Αναπαράσταση του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου.....	57
4.4	Προσομοίωση δυαδικού δικτύου αποχέτευσης.....	64
4.4.1	Γενικά.....	64
4.4.2	Υψομετρική θέση επιφανειακών αγωγών	65
4.4.3	Διατομή επιφανειακών αγωγών	67
5	Αποτελέσματα	72
5.1	Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού	72
5.2	Περίπτωση με τη λεκάνη υπό απολύτως φυσικές συνθήκες (Περίπτωση I)	83
5.3	Περίπτωση με το απλό αποχετευτικό δίκτυο (Περίπτωση II)	89
5.3.1	Γενικά.....	89
5.3.2	Σύγκριση παροχών ανά συμβολή στον βασικό συλλεκτήρα με εφαρμογή δύο διαφορετικών ομβρίων καμπύλων.	90
5.3.3	Εφαρμογή βροχοπτώσεων μεγάλης περιόδου επαναφοράς στο απλό αποχετευτικό δίκτυο.....	93
5.3.4	Μοντελοποίηση του βάθους ροής σε αγωγό του δικτύου για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 ετών.....	98
5.4	Περίπτωση με δυαδικό σύστημα αποχέτευσης (Περίπτωση III).....	102
5.4.1	Γενικά.....	102
5.4.2	Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος.....	102
5.4.3	Προσδιορισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε αγωγούς συμβολής στο βασικό συλλεκτήρα για πλημμυρικό γεγονός 25 ετών.....	107
5.4.4	Προσομοίωση πλημμυρικών φαινομένων διαφόρων περιόδων επαναφοράς στο τελευταίο τμήμα του βασικού συλλεκτήρα με κατάληξη στον Ποδονίφτη.....	115
5.4.5	Συνολικός όγκος νερού στο σύστημα	129
5.5	Αποτελέσματα εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου στο σύνολο της περιοχής μελέτης.	132
5.6	Σύγκριση αποτελεσμάτων	134
6	Συμπεράσματα	138
6.1	Γενικά.....	138
6.2	Δυσκολίες στη μοντελοποίηση του δικτύου.....	138
6.3	Συμπεράσματα από την προσομοίωση του πλημμυρικού κινδύνου στις λεκάνες του Ψυχικού και της Φιλοθέης	139
	Αναφορές	141
	Στην ελληνική γλώσσα	141

Ξενόγλωσσες	141
Από διαδίκτυο	141
Παράρτημα 1: Υετογράμματα σχεδιασμού	142
Παράρτημα 2: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο της μη αστικής λεκάνης	168
Παράρτημα 3: Υδρογραφήματα απορροής στις εξόδους της αστικής λεκάνης	173
Παράρτημα 4: Αναλυτικά υδραυλικά στοιχεία αγωγών	183
Παράρτημα 5: Βάθη και ταχύτητες ροής στο επιφανειακό δίκτυο	187
Παράρτημα 6: Διατομές επιφανειακών αγωγών	192
Παράρτημα 7: Χάρτες αναπαράστασης του συνολικού δικτύου.	195

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Ναλμπάντη, επίκουρο καθηγητή, για την ευκαιρία που μου έδωσε να προσεγγίσω σε βάθος, ένα πρακτικό πρόβλημα αστικής υδρολογίας καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Ακόμη, οφείλω να ευχαριστήσω το μελετητικό γραφείο «Υδωρ- Νοταράς- Υδραυλικές Μελέτες ΕΠΕ», για τα στοιχεία της μελέτη αντιπλημμυρικής προστασίας στην ευρύτερη περιοχή Ψυχικού-Φιλοθέης που παρείχε και τα οποία αποτέλεσαν το υπόβαθρο για την εκπόνηση της διπλωματικής μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες απορροής. Ως περιοχή μελέτης, επιλέχθηκε η περιοχή Παλαιού Ψυχικού-Φιλοθέης στο λεκανοπέδιο Αττικής. Έχοντας ως υπόβαθρο πρόσφατη υδραυλική μελέτη της περιοχής και με τη χρήση του λογισμικού SWMM, μοντελοποιήθηκε σύστημα αποχέτευσης ομβρίων και διερευνήθηκε η υδραυλική συμπεριφορά του κατά την εφαρμογή πλημμυρικών γεγονότων διαφορών διαρκειών και περιόδων επαναφοράς. Για την προσομοίωση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του δυναμικού κύματος, που προσεγγίζει στον καλύτερο δυνατό βαθμό τις πραγματικές συνθήκες, αφού στηρίζεται στην εφαρμογή φυσικών νόμων (θεωρία της μη μόνιμης ροής σε ανοικτούς αγωγούς). Αρχικό στάδιο της μοντελοποίησης αποτέλεσε ο σχεδιασμός των ορίων των αστικών λεκανών, σύμφωνα με το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο αλλά και το πολεοδομικό σχέδιο της περιοχής 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 εφαρμόστηκαν στο μοντέλο με την μορφή υετογραμμμάτων, για διάρκειες 1, 3, 6, 12 h και 5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 ετών με χρονικό βήμα δέκα λεπτών, με βάση την ενιαία εξίσωση ομβρίων καμπυλών του νοτιοανατολικού μετεωρολογικού σταθμού, της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Αμέσως μετά την μοντελοποίηση του απλού (υπόγειου) αποχετευτικού συστήματος, είναι εφικτός ο υπολογισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών των αγωγών όπως η παροχή, το βάθος και η ταχύτητα ροής, ο αριθμός Froude, για οποιαδήποτε χρονική στιγμή και για οποιοδήποτε πλημμυρικό γεγονός. Ωστόσο, το αποχετευτικό σύστημα έχει την ικανότητα πραγματοποίησης ασφαλούς διοχέτευσης, μέχρι και για γεγονότα βροχόπτωσης περιόδου 25 ετών. Με την εφαρμογή πλημμυρικών φαινομένων μεγαλύτερων περιόδων επαναφοράς αν όχι όλοι, πολλοί αγωγοί του δικτύου προβλέπεται να υπερφορτιστούν και να πλημμυρίσουν και η ασφαλής διοχέτευση είναι αδύνατη. Η ανάγκη λεπτομερούς μελέτης της απόκρισης των αστικών λεκανών, κατά τη διάρκεια μεγάλων γεγονότων βροχόπτωσης μας οδήγησε στη θεώρηση ενός πολύπλοκου αποχετευτικού συστήματος, του λεγόμενου δυαδικού συστήματος αποχέτευσης. Πρόκειται για ένα σύστημα που αποτελείται από δύο παράλληλα δίκτυα, ένα δίκτυο υπογείων αγωγών και ένα δίκτυο επιφανειακών ανοιχτών αγωγών, τυπικής διατομής αυτής των δρόμων. Έτσι, σε περίπτωση που πλημμυρίσει το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο η ροή θα πραγματοποιείται στο επιφανειακό. Το σύστημα είναι έτοιμο προς πλήρη διερεύνηση. Η διερεύνηση αυτή εστιάζει στα ακόλουθα θέματα: (α) παραγωγή υδρογραφημάτων απορροής στις εξόδους του συστήματος για όλα τα πλημμυρικά γεγονότα, (β) προσδιορισμός υδραυλικών μεγεθών για κάθε αγωγό του δικτύου, κάθε χρονική στιγμή του γεγονότος βροχόπτωσης (δυνατότητα καταγραφής αποτελεσμάτων μέχρι και κάθε 1 s), (γ) διόδευση της πλημμύρας τόσο για μικρά όσο και για μεγάλα γεγονότα βροχόπτωσης. Επιπλέον, η περιοχή μελέτης εξετάστηκε και με την θεώρησή της ως ενιαίας μη αστικής λεκάνης με ένα σημείο εκβολής με τη βοήθεια μιας αποκλειστικά υδρολογικής προσέγγισης. Ύστερα από τη μοντελοποίηση της λεκάνης με το λογισμικό του SWMM, εφαρμόστηκαν και σε αυτή τα παραπάνω υετογράμματα βροχόπτωσης. Κύριο εξαγόμενο ήταν μια σειρά υδρογραφημάτων απορροής στην έξοδο της. Η διερεύνηση της υδρολογικής συμπεριφοράς, της λεκάνης σε μη αστικές συνθήκες πραγματοποιήθηκε προκειμένου τελικά να

προσδιορίζεται το ποσοστό αύξησης των παροχών απορροής που προήλθε από την αστικοποίηση.

Abstract

The aim of this study is the assessment of flood hazard in urban basins Psichiko and Filothei that lie within the Attica water district. Based on data from a recent hydraulic study of the above areas and with the aid of 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 (theory of unsteady flow in open channels). First, the urban sub-basins were delineated based both on 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 12 h, and recurrence intervals of 5, 10, 25, 50, 100, 1000 and 10000 years. The time step was 10 minutes and the generalized equation of IDF curves of the northeastern meteorological station of NTUA campus in Zografos (Athens) was used. After modeling of the simple (subterranean) 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 convey water safely, only for flood events with recurrence intervals that do not exceed 25 years. Regarding flood events of larger recurrence intervals, some conduits are surcharged and manholes are flooded. In order to study these phenomena, a more complicated drainage system, called the dual drainage system was used. This consists of two parallel networks, a network of underground pipes and a network of open, surface channels whose cross sections coincide with those of a typical street. Cross sections of gutters represent the surface “channel” through which water would flow if the pipe system surcharged and flooded the street. The dual drainage system was investigated through a series of computational steps: (a) discharge hydrographs at the outfalls of the system were estimated (b) hydraulic quantities, for every conduit of the network, during the rainfall event (even 1 s can be used as time interval for reporting results) (c) hydraulic routing was performed for both minor and major rainfall events. In addition, the area was examined as non-urban basin based on a hydrological approach only and by considering one outlet. The same hyetographs were applied to the urbanized and the non-urbanized case. The main output was a series of discharge hydrographs at the outfall of the basin. Based on these hydrographs, the percentage of the discharge increase is calculated, which is due to urbanization.

Κατάλογος συμβόλων

f	Αδιάστατος συντελεστής τριβής
S_f	Αποθήκευση
h_f	Απώλειες ενέργειας
CN	Αριθμός καμπύλης απορροής
Fr	Αριθμός Froude
Re	Αριθμός Reynolds
h_{a0}	Αρχικές απώλειες (λόγω συγκράτησης και εξάτμισης)
y	Βάθος ροής
x	Βάρος συμμετοχής της εκροής στην αποθήκευση του τμήματος του ποταμού
P	Βρεχόμενη περίμετρος
D	Διάμετρος
d	Διάρκεια βροχόπτωσης
t_r	Διάρκεια περισσέυματος βροχόπτωσης
S	Δυνητικά μέγιστη κατακράτηση
γ	Ειδικό βάρος
H_o	Ειδική ενέργεια
A	Εκταση λεκάνης απορροής
A_w	Εμβαδόν υγρής διατομής
i	Ενταση βροχόπτωσης
F_k	Εξωτερική δύναμη κατά την διεύθυνση k
g	Επιτάχυνση της βαρύτητας
k	Ισοδύναμη τραχύτητα των τοιχωμάτων του αγωγού
ν	Κινηματική συνεκτικότητα
S_f	Κλίση γραμμής ενέργειας (ή κλίση τριβής)
S_o	Κλίση πυθμένα αγωγού
H_c	Κρίσιμη τιμή ειδικής ενέργειας
y_c	Κρίσιμο βάθος
fm	Μέση ταχύτητα διήθησης
y_m	Μέσο βάθος ροής
L	Μήκος αγωγού
L_e	Μήκος ροής από το πιο απομακρυσμένο σημείο της αποχετευόμενης επιφάνειας στο πλησιέστερο φρεάτιο
H	Ολική ενέργεια
β	Παράγοντας διόρθωσης της κατανομής της ταχύτητας στην εξίσωση δυναμικού κύματος
$\eta, \theta, \psi, \lambda, \kappa$	Παράμετροι ομβρίων καμπυλών
Q_{max}	Παροχή αιχμής

Q_o	Παροχή για ολική πλήρωση
I	Παροχή εισροής
Q	Παροχή εκροής
Q_0	Παροχή στο χρόνο t_0
T	Περίοδος επαναφοράς
ρ	Πίεση
B	Πλάτος διατομής στην ελεύθερη επιφάνεια
$r(x,t)$	Πλευρική εισροή (παροχή ανά μονάδα μήκους)
ρ_w	Πυκνότητα ρευστού
K	Σταθερά που προσεγγίζεται από το μέσο χρόνο διαδρομής της αιχμής της πλημμύρας διαμέσου του τμήματος
V_k	Συνιστώσα της ταχύτητας κατά την κατεύθυνση k
N_{imperv}	Συντελεστής τραχύτητας αδιαπέρατων τμημάτων
C	Συντελεστής απορροής
$D_{store-Perv}$	Συντελεστής επιφανειακής συγκράτησης διαπερατών τμημάτων
$D_{store-Imperv}$	Συντελεστής επιφανειακής συγκράτησης αδιαπέρατων τμημάτων
$N-perv$	Συντελεστής τραχύτητα διαπερατών τμημάτων
$R(t)$	Συνολική πλευρική εισροή
a	Συντελεστής στείρευσης
N	Συντελεστής τραχύτητας κατά Manning
n_o	Συντελεστής τραχύτητας κατά Manning για ολική πλήρωση
C_0	Συντελεστής Hazen-Williams
V	Ταχύτητα
V_e	Ταχύτητα επίγειας ροής
V_k	Ταχύτητα κατά την διεύθυνση k
R	Υδραυλική ακτίνα
h_R	Υψος περισσεύματος βροχόπτωσης
z	Υψόμετρο πυθμένα
h_r	Υψος συνολικής βροχόπτωσης
t_1	Χρόνος διήθησης
t_R	Χρόνος βροχόπτωσης
t_e	Χρόνος εισόδου στο δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων
t_f	Χρόνος ροής
t_c	Χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες απορροής με τη χρήση του υπολογιστικού μοντέλου SWMM. Οι λεκάνες που μελετώνται αφορούν την περιοχή Ψυχικού-Φιλοθέης. Γίνεται έτσι μια προσπάθεια να διερευνηθεί η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας σε αστικές λεκάνες και η υδρολογική και υδραυλική απόκριση αυτών κάτω από τυπικά συνθετικά γεγονότα βροχόπτωσης. Τα περισσότερα πρωτογενή δεδομένα για την μοντελοποίηση του συστήματος (λεκάνες, φρεάτια, αγωγοί σημεία εκβολής) αντλήθηκαν από σχετικά πρόσφατη μελέτη του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων της περιοχής. Σε εκείνη τη μελέτη εφαρμόστηκε η ορθολογική μέθοδος για την διαστασιολόγηση των αγωγών και η ένταση της βροχόπτωσης προσδιορίστηκε με βάση όμβρια καμπύλη του μετεωρολογικού σταθμού της Ελευσίνας. Επίσης, η μελέτη εκείνη αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς 25 ετών και πλήρη υδραυλικά δεδομένα υπήρχαν μόνο για το προτεινόμενο από εκείνη αποχετευτικό δίκτυο. Για τους υφιστάμενους αγωγούς, τα δεδομένα ήταν περιορισμένα και, έτσι, για την εισαγωγή τους στο σύστημα χρειάστηκε να γίνουν κάποιες παραδοχές και υπολογισμοί με βάση γνωστά υδραυλικά στοιχεία γειτονικών αγωγών. Ύστερα από τον υδραυλικό σχεδιασμό του συστήματος στο λογισμικό SWMM, εφαρμόστηκε σε αυτό η όμβρια καμπύλη της μελέτης προκειμένου να ελεγχθεί η συμφωνία των αποτελεσμάτων του προγράμματος με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μελέτης. Βέβαια, τα αποτελέσματα του προγράμματος, αν και ίδιας τάξης μεγέθους, είναι ακριβέστερα αφού προήλθαν με την υπολογιστική μέθοδο της δυναμικής διόδευσης που επιλύει το δίκτυο σε πραγματικές συνθήκες ανομοιομορφης μη μόνιμης ροής, εν αντιθέσει με την ορθολογική μέθοδο, όπου γίνεται η παραδοχή μόνιμης ομοιομορφης ροής. Στη συνέχεια, προκειμένου να γίνει ευρύτερη παρακολούθηση πλημμυρικών φαινομένων στην περιοχή, συντέθηκαν και εφαρμόστηκαν υετογράμματα βροχόπτωσης διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς τα οποία προέκυψαν με βάση την ενιαία εξίσωση ομβρίων καμπυλών που ισχύει για τον νοτιοανατολικό μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (Λυμπερόπουλος, 2008). Όμως το υπόγειο αποχετευτικό σύστημα υπό τον βασικό του σχεδιασμό, μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά μέχρι και για 25 χρόνια. Η ανάγκη λεπτομερούς παρακολούθησης της υδραυλικής συμπεριφοράς του συστήματος, υπό τις συνθήκες διάφορων γεγονότων βροχόπτωσης σχεδιασμού ακόμα και πολύ μεγαλύτερων περιόδων επαναφοράς, μας οδήγησε στην μοντελοποίηση ενός πιο πολύπλοκου αποχετευτικού συστήματος, του δυαδικού αποχετευτικού συστήματος. Με αυτό προσεγγίζονται σε μεγάλο βαθμό οι πραγματικές συνθήκες, αφού επιτυγχάνεται ταυτόχρονη λειτουργία του υπογείου δικτύου και, παράλληλα, και του επιφανειακού δικτύου των δρόμων. Έτσι, είναι εφικτή η διοχέτευση του νερού προς τα κατάντη για οποιοδήποτε πλημμυρικό γεγονός, ανεξαρτήτως περιόδου επαναφοράς. Αφού προσομοιώσαμε τη λεκάνη σε αστικές συνθήκες θεωρήσαμε σκόπιμο να μελετήσουμε τη λεκάνη μας και ως ενιαία, μη αστική υδρολογική λεκάνη με ένα σημείο εκβολής. Εξαγόμενο αυτής της προσομοίωσης ήταν μια σειρά υδρογραφημάτων, για όλα τα παραπάνω πλημμυρικά γεγονότα στην έξοδο της λεκάνης. Τέλος, είναι προφανές ότι με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς αναμένονται πολύ εντονότερα γεγονότα βροχόπτωσης, συνεπώς και πολύ μεγαλύτερος όγκος απορροής. Τα ερωτήματα λοιπόν που φιλοδοξεί να απαντήσει η

παρούσα εργασία είναι: (α) το πώς θα ανταποκριθεί το σύστημα σε μείζονα πλημμυρικά φαινόμενα από 50 έως και 10000 χρόνων, (β) το ποσοστό αύξησης των παροχών απορροής που προήλθε από την αστικοποίηση

1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται διάφορες μεθοδολογίες της Υδρολογίας και της Υδραυλικής και πως αυτές εφαρμόζονται σε μη αστικές και αστικές λεκάνες, για την εκτίμηση της πλημμύρας σχεδιασμού. Ακόμη, γίνεται αναφορά στο διαθέσιμο λογισμικό που υπάρχει για την προσομοίωση πλημμυρικών φαινομένων σε λεκάνες απορροής. Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του λογισμικού SWMM που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του δικτύου ομβρίων στην περιοχή μελέτης. Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται η περιοχή μελέτης και αναλύεται σε τρία στάδια. Αρχικά μελετάται η κατάσταση της περιοχής προ της αστικοποίησης. Στη συνέχεια, αναλύεται η κατάσταση με την πρόσφατη αναβάθμιση του δικτύου αποχέτευσης και, τέλος, δίνεται περιγραφή ενός πολυπλοκότερου αποχετευτικού συστήματος, του δυαδικού συστήματος. Στο πέμπτο κεφάλαιο αρχικά καταρτίζονται τα νετογράμματα σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση, όπως αυτά προέκυψαν από τις σχετικές όμβριες καμπύλες. Ύστερα, παρουσιάζονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν για κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις μελέτης του συστήματος και τέλος γίνεται σύγκριση των παροχών αιχμής προ και μετά αστικοποίησης. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μοντελοποίηση του συστήματος αποχέτευσης. Στο Παράρτημα 1 παρατίθενται τα νετογράμματα σχεδιασμού, στα Παραρτήματα 2 και 3 τα υδρογραφήματα απορροής στις εξόδους της μη αστικής και της αστικής λεκάνης αντίστοιχα. Στο Παράρτημα 4 παρουσιάζονται τα υδραυλικά στοιχεία διαφόρων αγωγών ενώ στο Παράρτημα 5, τα βάθη και οι ταχύτητες ροής στο επιφανειακό δίκτυο για συγκεκριμένα πλημμυρικά φαινόμενα. Τέλος στο Παράρτημα 6 δίνονται οι διατομές των επιφανειακών αγωγών και στο Παράρτημα 7 κάποιοι χάρτες αναπαράστασης του συνολικού δικτύου.

2 Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμύρας

2.1 Γενικά

Με τον όρο «πλημμύρα» σε μια αστική λεκάνη, εννοούμε το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή είναι τόσο σημαντική, που η χωρητικότητα του συστήματος αποχέτευσης (φυσικού ή ανθρωπογενούς), δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Μία από τις βασικότερες αιτίες εμφάνισης των πλημμυρών είναι οι ισχυρές καταιγίδες. Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου, δηλαδή της περιόδου επαναφοράς καθώς και της διάρκειας της βροχόπτωσης. Με την αύξηση λοιπόν αυτών των δύο μεταβλητών αυξάνεται και ο κίνδυνος πλημμύρας σε μια αστική λεκάνη. Παράλληλα, η έντονη αστικοποίηση, η κατάργηση σημαντικού μέρους του φυσικού υδρογραφικού δικτύου και ο περιορισμός της δυναμικότητας των φυσικών ρευμάτων που έμειναν, με την κάλυψη και τον εγκιβωτισμό τους, ενέτειναν το πρόβλημα των πλημμυρών. Με βάση όλα τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι καθίσταται απαραίτητη η αντιπλημμυρική προστασία των αστικών λεκανών. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με τον κατάλληλο σχεδιασμό και την κατασκευή υπογείων αγωγών οι οποίοι θα οδηγούν με ασφάλεια τις πλημμυρικές απορροές μιας περιοχής, σε έναν ή περισσότερους υδάτινους αποδέκτες.

2.2 Προσδιορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού

2.2.1 Όμβριες καμπύλες

Σε ένα πρόβλημα σχεδιασμού ενός υδρολογικού συστήματος, για τη αποφυγή πλημμυρών, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του όγκου της βροχόπτωσης καθώς και της χωροχρονικής κατανομής της στην περιοχή μελέτης. Τα κύρια χαρακτηριστικά που συνθέτουν μια βροχόπτωση είναι: η ένταση, η διάρκεια και η περίοδος επαναφοράς. Οι σχέσεις μεταξύ αυτών των μεγεθών απεικονίζονται στις λεγόμενες καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς της βροχόπτωσης (στην αγγλική βιβλιογραφία intensity-duration-frequency, ή IDF curves) ή αλλιώς όπως αποκαλούνται στην ελληνική τεχνική ορολογία, όμβριες καμπύλες. Η κατάρτιση των καμπύλων αυτών είναι απαραίτητη για την εκτίμηση των παροχών ομβρίων καθώς προβλέπεται η ένταση της βροχής i για δεδομένη διάρκεια d και δεδομένη περίοδο επαναφοράς T . Η εργασία αυτή βασίζεται σε βροχογραφικά δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής ή γειτονικούς. Δεν υπάρχουν γενικές καμπύλες γενικής εφαρμογής ανεξάρτητες των τοπικών συνθηκών. Οι καμπύλες αυτές κατασκευάζονται σύμφωνα με την μέθοδο ενοποίησης των διαρκειών. Όλες οι όμβριες καμπύλες περιγράφονται από μια απλή συναρτησιακή σχέση της μορφής :

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

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

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

Όπου θ , η παράμετροι που η τιμή τους εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς. Κατά μία εμπειρική θεώρηση, ο αριθμητής της σχέσης (2.1) $\alpha(T)$ μπορεί να πάρει μια 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 κ , λ και ψ είναι αριθμητικές παράμετροι. Μια πιο συνεπής στατιστική θεώρηση, προσδιορίζει τη συνάρτηση $\alpha(T)$ απευθείας από τη συνάρτηση κατανομής της μέγιστης έντασης βροχής. Έτσι, 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 παίρνουμε τη συχνότερα χρησιμοποιούμενη ενιαία ημιεμπειρική έκφραση ομβρίων καμπυλών:

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

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

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

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

Η 2.7 είναι απλούστερη στην κατασκευή και στην εφαρμογή της από την 2.8 και την 2.9, αλλά έχει πάντα περιορισμένο πεδίο μεταβολής του T , ενώ οι πολυπλοκότερες 2.8 και 2.9 ισχύουν για κάθε τιμή της περιόδου επαναφοράς T . Τελικά, για την κατάρτιση των ομβρίων καμπυλών χρησιμοποιήθηκε η στατιστική κατανομή GEV (General Extreme Value) η οποία δίνει, στη συνήθη περίπτωση, τις δυσμενέστερες τιμές βροχομετρικών υψών. Η γενική μορφή της είναι

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

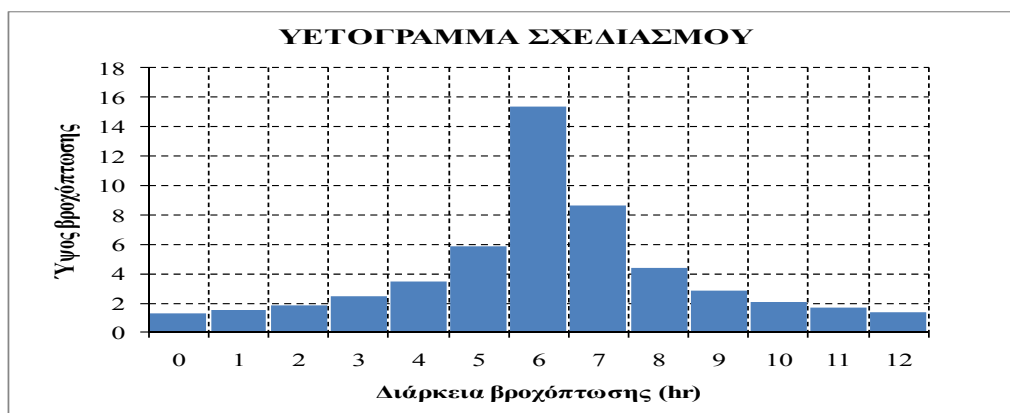
Η χρήση της εν λόγω κατανομής έχει αποδειχθεί (Κουτσογιάννης, 1997) ότι είναι από τις πιο αντιπροσωπευτικές και δίνει μια αρκετά ακριβή εκτίμηση των ομβρίων καμπυλών. Ο Λυμπερόπουλος (2009) με τη χρήση του λογισμικού «Υδρογνώμων» προσδιόρισε τις παραμέτρους της σχέσης 2.10 και, τελικά, προέκυψε η ενιαία εξίσωση ομβρίων καμπυλών για τον νοτιοανατολικό μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου την οποία και θα χρησιμοποιήσουμε για τον προσδιορισμό της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης μας. Η εξίσωση αυτή είναι η εξής:

$$i = \frac{31.26 + 73.13 \left[\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-0.15} - 1 \right]}{(d + 0.291)^{0.789}} \quad (2.11)$$

Η παραπάνω σχέση δίνει την ένταση συναρτήσει της διάρκειας βροχόπτωσης και περιόδου επαναφοράς.

2.2.2 Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού

Η βροχόπτωση σχεδιασμού είναι ένα πρότυπο βροχόπτωσης που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό ενός υδρολογικού συστήματος. Συνήθως, η βροχόπτωση σχεδιασμού εισάγεται στο σύστημα και εξάγονται τιμές παροχών χρησιμοποιώντας σχέσεις βροχόπτωσης-απορροής και διαδικασίες διόδευσης. Μια 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 μιας καταιγίδας ή με έναν χάρτη ισουέτιων καμπυλών, που προσδιορίζει το χρονικό πρότυπο της βροχόπτωσης (Shaw,1983). Οι παλιότερες μέθοδοι υδρολογικού σχεδιασμού γενικά, δεν λάμβαναν υπόψη τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Για να εξαχθεί το υδρογράφημα σχεδιασμού, όμως, χρειάζεται και ένα αξιόπιστο υετόγραμμα σχεδιασμού. Μια τέτοια αξιόπιστη προσέγγιση, είναι η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ, η οποία είναι ένας απλός τρόπος παραγωγής ενός «εικονικού» υετογραφήματος όταν είναι διαθέσιμη η όμβρια καμπύλη και θα χρησιμοποιηθεί στην προσέγγιση των επόμενων κεφαλαίων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ορίζεται το ύψος βροχόπτωσης που συμβαίνει σε n διαδοχικά χρονικά διαστήματα διάρκειας Δt σε μια ολική διάρκεια $d = n\Delta t$. Μετά την επιλογή της περιόδου επαναφοράς, η ένταση υπολογίζεται από τις όμβριες καμπύλες για κάθε μια από τις διάρκειες Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, ..., $n\Delta t$ και το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης βρίσκεται ως γινόμενο της έντασης βροχόπτωσης και της διάρκειας. Παίρνοντας διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών υψών βροχόπτωσης, δίνεται το ύψος βροχόπτωσης για κάθε διάστημα (χρονικό βήμα) που μελετάται. Τα προκύπτοντα μπλοκ βροχόπτωσης καταγράφονται καταρχάς με φθίνουσα σειρά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο. Μετά, ανακατανέμονται ώστε το μέγιστο ύψος να τοποθετείται στο κεντρικό μπλοκ και τα εναπομείναντα μπλοκ με φθίνουσα σειρά και με εναλλαγή μια στα δεξιά και μία στα αριστερά του κεντρικού μπλοκ σχηματίζοντας έτσι το υετόγραμμα σχεδιασμού (Chow,1988).



Σχήμα 2.1: Τυπικό υετόγραμμα σχεδιασμού με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ

2.3 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης χωρίς δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων

2.3.1 Γενικά

Η απορροή των ομβρίων σε μια μη αστική λεκάνη είναι ένα από τα κύρια αντικείμενα της Τεχνικής Υδρολογίας και αποτελεί μια από τις κύριες συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου για την ανάλυση, μοντελοποίηση και πρόβλεψη των πλημμυρικών γεγονότων. Όταν αναφερόμαστε σε μια υδρολογική λεκάνη (ή αλλιώς μια λεκάνη απορροής ενός υδατορεύματος), εννοούμε το σύνολο της τοπογραφικής επιφάνειας που αποστραγγίζεται από αυτό το υδατόρευμα. Κάθε λεκάνη απορροής περιορίζεται και χωρίζεται από τις άλλες που την περιβάλλουν από τον υδροκρίτη, ο οποίος ακολουθεί τις κορυφογραμμές του εδαφικού ανάγλυφου. Μια υδρολογική λεκάνη δέχεται τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι κλπ) και δρα με όλα τα μορφολογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της σαν ένα σύστημα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή. Μετά την βροχόπτωση και πριν την έναρξη της απορροής, αρχίζουν διάφορες διεργασίες που συντελούν σ' αυτό που ονομάζεται απώλειες βροχής. Πιο συγκεκριμένα, από την ποσότητα της βροχής και πριν αυτή φτάσει στο έδαφος, ένα μέρος συγκρατείται από την βλάστηση και άλλα ψηλά εμπόδια και λέγεται συγκράτηση. Συνήθως το τμήμα αυτής της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στην φυτοκόμη και εξατμίζεται λέγεται απώλεια συγκράτησης (interception loss). Χρονικά έπεται η πτώση της βροχόπτωσης στο έδαφος που ακολουθείται από το φαινόμενο της διήθησης (infiltration), που αποτελεί επίσης απώλεια. Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και των απωλειών διήθησης και, εφόσον η βροχή συνεχίζεται, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του ανάγλυφου και επιφανειακή αποθήκευση (depression storage). Το νερό αυτό που αποθηκεύεται σε επιφανειακές κοιλότητες είτε εξατμίζεται είτε διηθείται και επομένως αποτελεί απώλεια βροχής. Μετά το πέρας των παραπάνω διαδικασιών ξεκινάει το φαινόμενο της άμεσης απορροής. Η άμεση απορροή ή αλλιώς περίσσειμα βροχόπτωσης (rainfall excess), αποτελείται από την επιφανειακή απορροή και από την ταχεία υπεδάφια απορροή. Η εκτίμηση των απωλειών της βροχής είναι ένα δύσκολο πρόβλημα που εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης όσο και από τα χαρακτηριστικά της βροχής. Ύστερα από μέτρηση διαφόρων ποσοτήτων βροχόπτωσης και απορροής είναι δυνατόν να προσδιορισθούν διάφοροι δείκτες που αφορούν την λεκάνη και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του περισσεύματος βροχόπτωσης. Τέτοιοι δείκτες απωλειών είναι: ο Δείκτης Φ , ο Δείκτης W και ο συντελεστής απορροής C . Ευρύτερα διαδεδομένος για τον υπολογισμό των απωλειών είναι ο συντελεστής απορροής C , ο οποίος θα περιγραφεί παρακάτω.

2.3.2 Ο Συντελεστής Απορροής C

Ο Συντελεστής απορροής C εκφράζει τον λόγο του όγκου της άμεσης απορροής προς τον λόγο της βροχόπτωσης. Δηλαδή, μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$C = \frac{h_R}{h_r} \quad (2.12)$$

Ο συντελεστής απορροής C αποτελεί έναν από τους σπουδαιότερους παράγοντες, κατά την ορθολογική μέθοδο για την εκτίμηση της αιχμής μιας πλημμύρας. Η λανθασμένη εκτίμηση

αυτού έχει μεγάλη επιρροή στον υπολογισμό των δικτύων. Ο συντελεστής απορροής C συνεκτιμά :

1. τις απώλειες συγκράτησης από την φυτοκόμηση
2. τις απώλειες από την επιφανειακή συγκράτηση/αποθήκευση
3. τις απώλειες λόγω διήθησης
4. τις απώλειες λόγω εξάτμισης και διαπνοής.

Για να αντιληφθούμε τις συνέπειες της λανθασμένης εκτίμησης του συντελεστή απορροής μπορούμε να κάνουμε τον εξής απλό υπολογισμό. Αν δεχτούμε ότι ο συντελεστής εκτιμήθηκε x και στην πραγματικότητα είναι y αυτό σημαίνει αύξηση των παροχών κατά x/y . Τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές των x, y φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Ποσοστό αύξησης των παροχών από λανθασμένη εκτίμηση του συντελεστή απορροής

Εκτίμηση συντελεστή απορροής	Πραγματικός συντελεστής απορροής	Ποσοστό αύξησης των παροχών
0.5	0.6	20%
0.5	0.7	40%
0.5	0.8	60%
0.5	0.9	80%
0.5	1.0	100%

Στις μελέτες χρησιμοποιούνται τυποποιημένες τιμές συντελεστών απορροής, ανεξάρτητες της διάρκειας βροχής. Οι τιμές αυτές δεν είναι γενικής εφαρμογής, αλλά αναφέρονται σε συγκεκριμένη τάξη μεγέθους της περιόδου επαναφοράς του πλημμυρικού φαινομένου δηλαδή, για περίοδο επαναφοράς από 5 έως 10 έτη, όταν αναφερόμαστε σε δίκτυα αποχέτευσης. Καθώς αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς, αυξάνεται και ο συντελεστής απορροής και τότε περιορίζεται η ακρίβεια της ορθολογικής μεθόδου και θα πρέπει να αποφεύγεται. Ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από αυτούς είναι η ένταση της βροχόπτωσης, τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης λεκάνης, οι χρήσεις γης, η εδαφοκάλυψη και οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας στη λεκάνη. Συνήθως, όμως ο συντελεστής απορροής συναρτάται από τις χρήσεις γης και την εδαφοκάλυψη στην εξεταζόμενη λεκάνη. Οι ελληνικές προδιαγραφές συνιστούν τις τιμές του Πίνακα 2.2 οι οποίες αναφέρονται σε μη αστικές περιοχές.

Ο μέσος συντελεστής απορροής δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.13)$$

Όπου C_i οι συντελεστές των επιμέρους εκτάσεων A_i .

Υπάρχουν διάφορες εμπειρικές σχέσεις έκφρασης της χρονικής μεταβολής του συντελεστή απορροής κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας. Ενδεικτικά παρατίθενται οι ακόλουθες:

$$C = 0.175t^{1/3} \quad (2.14)$$

$$C = t / (8 + t) \quad (2.15)$$

$$C = 0.3t / (20 + t) \quad (2.16)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι (2.14) και (2.15) αναφέρονται σε αδιαπέρατες επιφάνειες ενώ η (2.16) σε διαπερατές.

Πίνακας 2.2: Τιμές του συντελεστή απορροής σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές αποχετεύσεων (ΠΔ 696,1974)

Περιοχή	Συντελεστής απορροής
Ορεινή (Μέσο υψόμετρο > 300m)	0.60
Λοφώδης (Μέσο υψόμετρο μεταξύ 100 και 300m)	0.50
Πεδινή (Μέσο υψόμετρο < 100m)	0.30

2.3.3 Μέθοδος SCS

Η μέθοδος SCS είναι μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδος για τον υπολογισμό του περισσεύματος βροχόπτωσης σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες της βροχής. Η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος της βροχής από μια δεδομένη βροχή με την βοήθεια τριών μεταβλητών: του ύψους βροχής, της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους και του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους-καλύμματος. Η μέθοδος SCS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περισσεύματος βροχής ή την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας. Σύμφωνα με την μέθοδο ισχύει

$$h_R = \frac{(h_r - h_{ao})^2}{h_r - h_{ao} + S} \quad \text{για } h_r > h_{ao} \quad (2.17)$$

$$h_R = 0 \quad \text{για } h_r < h_{ao} \quad (2.18)$$

Όπου h_{ao} οι αρχικές απώλειες (συγκράτηση και εξάτμιση) και S η δυνητικά μέγιστη κατακράτηση.

Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS, έγινε η εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες είναι 20% των συνολικών απωλειών επομένως οι 2.17 και 2.18 γίνονται:

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2S)^2}{h_r + 0.8S} \quad \text{για } h_r > 0.2S \quad (2.19)$$

$$h_R = 0 \quad \text{για } h_r < 0.2S \quad (2.20)$$

Οι παραπάνω σχέσεις αναπαριστούν το φαινόμενο της μετατροπής της βροχής σε απορροή με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι οι μέθοδοι που στηρίζονται σε δείκτες απωλειών όπως ο δείκτης Φ ο δείκτης W κλπ. 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 μια 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 μια άλλη παράμετρο τον αριθμό καμπύλης CN με την εξίσωση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.21)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0-100. και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και χρήσης γης στη λεκάνη απορροής, καθώς και από την αρχική κατάσταση εδαφικής υγρασίας, η οποία συναρτάται με την χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από τις προηγούμενες. Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS τα εδάφη, ανάλογα με την διαπερατότητα τους κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες:

Κατηγορία A: Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα. Πρόκειται συνήθως για αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.

Κατηγορία B: Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφράς σύστασης εδάφη. π.χ αμμώδης πηλός

Κατηγορία C: Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα. 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. Περιλαμβάνει κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, εδάφη με υψηλή στάθμη υπογείου νερού ή εδάφη μικρού βάθους με αδιαπέρατο στρώμα.

Στη συνέχεια, με βάση το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών, διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες που χαρακτηρίζουν την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους:

Κατηγορία I: Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά αλλά πάνω από το σημείο μαράνσεως). Το ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερο των 13 mm κατά την χειμερινή περίοδο και μικρότερο των 35 mm κατά την περίοδο βλάστησης.

Κατηγορία II: Μέσες συνθήκες. Η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεταξύ 13 και 38 mm κατά την χειμερινή περίοδο και μεταξύ 35 και 53 mm κατά την περίοδο βλάστησης.

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

Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, υπάρχουν αναλυτικοί πίνακες με τιμές του CN για κάθε τύπο εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης. Ένα μικρό υποσύνολο των πινάκων αυτών δίνει ο Πίνακας 2.3. Για τους άλλους δύο τύπους συνθηκών υγρασίας ο αριθμός καμπύλης απορροής CN προσδιορίζεται με βάση τον Πίνακα 2.4 ή με αναγωγή στις παρακάτω σχέσεις (Κουτσογιάννης, 1999):

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (2.22)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 - 0.013CN_{II}} \quad (2.23)$$

Πίνακας 2.3: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS για αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II.

ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ		ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ			
		A	B	C	D
<i>Καλλιεργημένες εκτάσεις</i>		72	81	88	91
• Χωρίς έργα συντήρησης		62	71	78	81
• Με έργα συντήρησης					
<i>Ορεινοί βοσκότοποι</i>		68	79	86	89
• Κακή κατάσταση		39	61	74	80
• Καλή κατάσταση					
<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 περιοχής		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 (m ²)	Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας (%)				
<500	65	77	85	90	92
1000	40	61	75	83	87
1500	30	57	7	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
<i>Χώροι πάρκινγκ στέγες κλπ</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 η θάμνοι		72	81	88	91
• Μεγάλη κάλυψη πρασίνου(>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 2.4: Μετατροπή αριθμών καμπύλης *CN* και τιμές της παραμέτρου *S* (Για την περίπτωση αρχικών απωλειών 0.2*S*).

Αριθμός καμπύλης Κατηγορία II	Αντίστοιχος αριθμός καμπύλης απορροής για		Τιμές του <i>S</i> για τιμές του <i>CN</i> της στήλης <1> (mm)	Ελάχιστη τιμή του <i>h_r</i> για έναρξη απορροής (mm)
	Κατηγορία I	Κατηγορία III		
<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 μια μέθοδος υπολογισμού της παροχής αιχμής ενός πλημμυρικού γεγονότος και εφαρμόζεται σε μικρές υδρολογικές λεκάνες με εμβαδό μέχρι 10 km² και όταν η βροχόπτωση έχει ομοιόμορφη ένταση σε όλη τη διάρκεια της. Η ορθολογική μέθοδος μετασχηματίζει την βροχή σε απορροή με την απλή σχέση:

$$Q_{\max} = 0.278CiA \quad (2.24)$$

όπου : Q_{\max} η παροχή αιχμής της πλημμύρας σε m³/s

C είναι ο συντελεστής απορροής (αδιάστατος)

i η σταθερή ένταση της βροχόπτωσης σχεδιασμού (mm/h)

A το εμβαδόν της εξεταζόμενης λεκάνης (km²)

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος γίνονται οι εξής παραδοχές:

1. Η βροχόπτωση σχεδιασμού έχει χρονικά σταθερή ένταση
2. Η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού είναι ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης της θεωρούμενης λεκάνης απορροής
3. Η παροχή αιχμής της πλημμύρας έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με την βροχόπτωση σχεδιασμού

2.3.5 Το υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος και οι συνιστώσες του

Τα υδρογραφήματα πλημμυρικών γεγονότων σχετίζονται άμεσα με το φαινόμενο της επιφανειακής απορροής. 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 της ολικής βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή. Συγκεκριμένα, αποτελεί έναν μετασχηματισμό του περισσεύματος, ο οποίος χαρακτηρίζεται αφενός από μια χρονική υστέρηση, λόγω του χρόνου που απαιτεί η διαδρομή του νερού μέχρι να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης, και αφετέρου από τη διατήρηση της ολικής μάζας ή όγκου (ο όγκος του περισσεύματος βροχόπτωσης ταυτίζεται με τον όγκο της άμεσης απορροής). Η άλλη συνιστώσα της επιφανειακής απορροής, η βασική απορροή, οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο μηχανισμό της υπόγειας ροής και, γι' αυτό, δεν επηρεάζεται αισθητά κατά τη διάρκεια των πλημμυρών.

Τα καταγραμμένα υδρογραφήματα κατά τη διάρκεια πλημμυρών, σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα υετογράμματα των βροχοπτώσεων που τις προκάλεσαν, περιέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που εξελίσσεται μια 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 φαίνεται ένα τυπικό υδρογράφημα (παροχή υδατορεύματος συναρτήσει του χρόνου) ενός πλημμυρικού γεγονότος, μαζί με το υετόγραμμα που προκάλεσε την πλημμύρα (ένταση βροχής συναρτήσει του χρόνου το οποίο έχει καθιερωθεί να σχεδιάζεται με ανεστραμμένη τη φορά των τεταγμένων, όπως ακριβώς φαίνεται στο Σχ. 2.2). Υποτίθεται ότι η βροχόπτωση έχει ικανοποιητική χωρική ομογένεια, ή η ένταση που απεικονίζεται στο υετόγραμμα αποτελεί την χωρικά μέση τιμή για κάθε χρονικό διάστημα Δt . Το υετόγραμμα δείχνει ότι στο χρόνο t_K ξεκινά ένα επεισόδιο βροχής, και σύντομα, στο χρόνο t_A , μετά από ένα αρχικό έλλειμμα, ξεκινά η εμφάνιση περισσεύματος βροχής το οποίο μετατρέπεται σε άμεση απορροή. Η

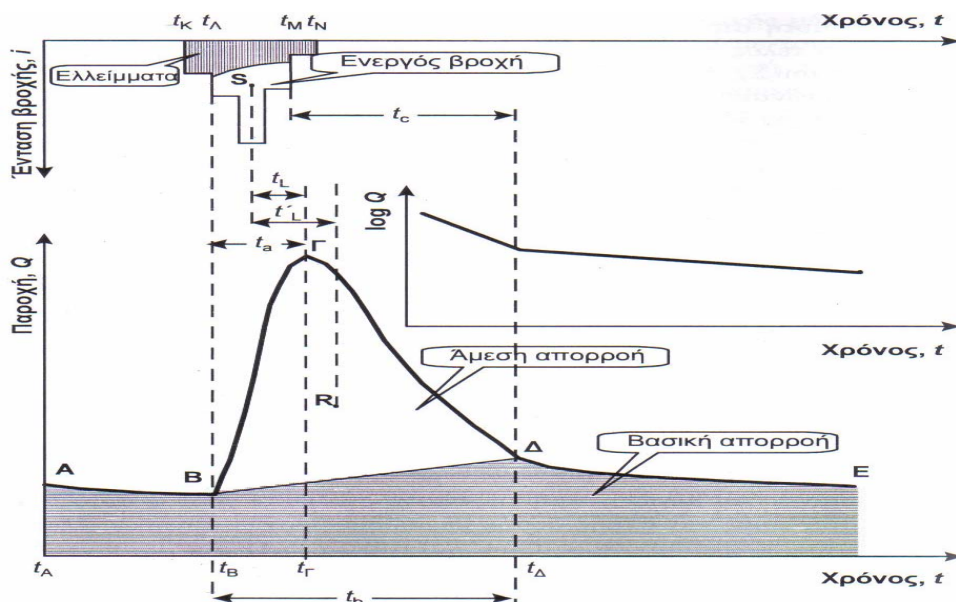
βροχή λήγει στο χρόνο t_N . Το περίσσευμα βροχής μπορεί να λήγει και αυτό στον ίδιο χρόνο t_N ή σε προηγούμενο χρόνο t_M , αν η ένταση στο τέλος του επεισοδίου είναι αρκετά μικρή,

Παρατηρώντας το υδρογράφημα, διαπιστώνουμε ότι, πριν αρχίσει η εμφάνιση 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 AB ονομάζεται κλάδος στείρευσης της βασικής ροής και συνήθως περιγράφεται μαθηματικά από μια εξίσωση εκθετικής μείωσης της παροχής ως προς το χρόνο, της μορφής:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-(t-t_0)/\alpha} \quad (2.25)$$

όπου Q_0 η παροχή στο χρόνο t_0 και α ένας συντελεστής με διαστάσεις χρόνου, γνωστός ως συντελεστής στείρευσης.

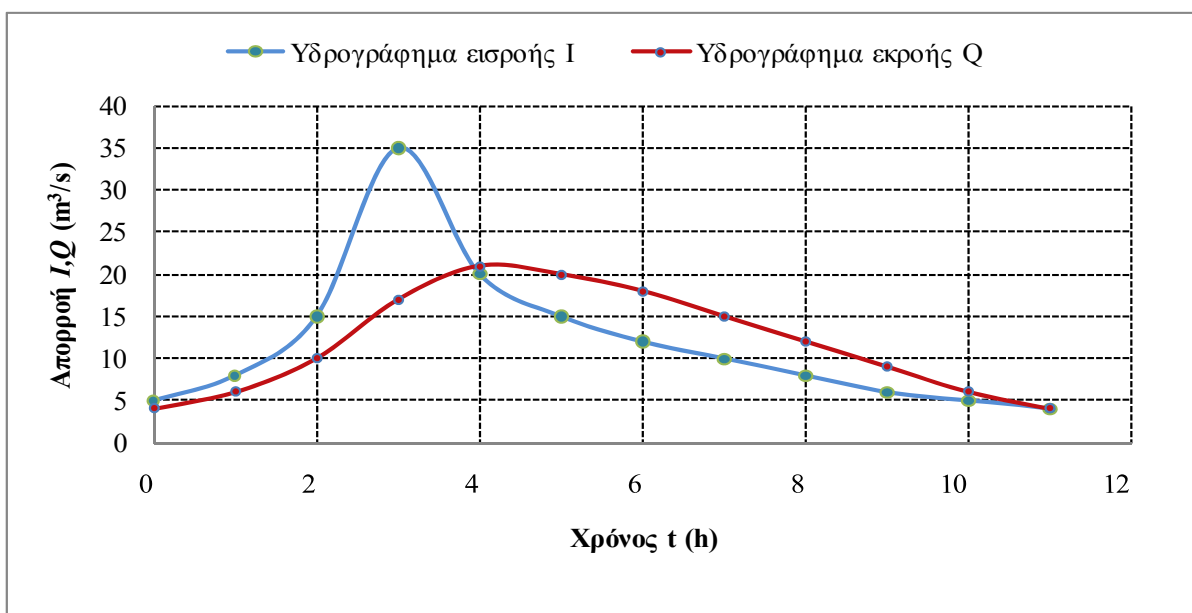
Στο χρόνο $t_A = t_B$ που ξεκινά το περίσσευμα βροχής, η παροχή του υδατορεύματος αρχίζει να αυξάνεται με έντονο ρυθμό, μέχρι που η παροχή φτάνει στη μέγιστη τιμή της στο χρόνο t_T . Ο χρόνος αυτός, για σχετικώς σύντομα και απλής δομής επεισόδια βροχής, συνήθως έπεται της λήξης του περισσεύματος βροχής (όπως και στο Σχ.2.2). 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. Στο χρόνο t_Δ 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 νετογράμμα. Διαχωρισμός των συνιστωσών του υδρογραφήματος και χαρακτηριστικοί χρόνοι (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

2.3.6 Διόδευση πλημμύρας σε μη αστική λεκάνη

Διόδευση πλημμύρας ονομάζεται η τεχνική που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της χωροχρονικής εξέλιξης μιας πλημμύρας μέσω ενός επιφανειακού υδροφορέα (π.χ. υδατόρευμα, ταμιευτήρας, τμήμα υδρογραφικού δικτύου). Γενικότερα, η διόδευση αναφέρεται στην επίδραση των χαρακτηριστικών ενός υδρολογικού συστήματος στο σχήμα και την χρονική εξέλιξη μιας πλημμύρας (Τσακίρης, 1995). Η τεχνική της διόδευσης χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας. Η διαδικασία σχεδιασμού που συνήθως ακολουθείται είναι με δοκιμές. Δηλαδή δίνονται αρχικά μεγέθη σχεδιασμού με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά του επιφανειακού υδροφορέα να είναι γνωστά. Ακολουθεί η διόδευση της πλημμύρας μελέτης (της πλημμύρας με την κατάλληλη περίοδο επαναφοράς για το συγκεκριμένο έργο) και, τέλος, ελέγχονται τα χαρακτηριστικά της εκροής σε σχέση με την διοχετευτική ικανότητα του υδατορεύματος στην κατάντη θέση που μας ενδιαφέρει. Στην περίπτωση που η μέγιστη παροχή εκροής (αιχμή του υδρογραφήματος εκροής) είναι μεγαλύτερη της διοχετευτικής ικανότητας του ρέματος στη θέση αυτή, δοκιμάζονται άλλα χαρακτηριστικά του υπό σχεδιασμό επιφανειακού υδροφορέα. Με την διέλευση μιας πλημμύρας διαμέσου ενός επιφανειακού υδροφορέα παρατηρείται μια μείωση της αιχμής της πλημμύρας που συνοδεύεται από μια καθυστέρηση. Αν για παράδειγμα, διοδευθεί μια πλημμύρα μέσω ενός τμήματος φυσικού υδατορεύματος με υδρογράφημα εισροής που φαίνεται στο Σχήμα 2.3, στο υδρογράφημα εκροής παρατηρείται μια μείωση της αιχμής και μια χρονική επιβράδυνση εμφάνισης της πλημμύρας. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι στα φυσικά υδατορεύματα υπάρχει αποθηκευτικότητα που δημιουργεί αυτή 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 εισροής (εισόδου) και εκροής (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 διόδευσης

Για την περίπτωση της λεκάνης μας, χωρίς δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων θα εφαρμοσθεί η υδρολογική μεθοδολογία διόδευσης. Η υδρολογική μεθοδολογία διόδευσης βασίζει την πρόβλεψη της εξέλιξης μιας πλημμύρας στην εξίσωση της συνέχειας και σε μια συνάρτηση της χωρητικότητας του συστήματος. Αν ο φορέας διαμέσου του οποίου γίνεται η διόδευση είναι ταμιευτήρας απαιτείται μια συνάρτηση που συνδέει την παροχή εκροής με την αποθήκευση του φορέα. Κατά την υδρολογική μεθοδολογία διόδευσης χρησιμοποιούνται δεδομένα της πλημμύρας εισόδου και προβλέπονται τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εξόδου. Κατά την υδρολογική διόδευση πλημμύρας δεν δίνονται πληροφορίες για την πλήρη χωροχρονική εξέλιξη της πλημμύρας και δεν απαιτούνται γνώσεις των χαρακτηριστικών του φορέα (κλίσεις, διατομές κλπ.)

Για την υδρολογική διόδευση πλημμύρας η τυπική μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος Muskingum. Στη μέθοδο Muskingum χρησιμοποιείται η απλοποιημένη εξίσωση συνέχειας:

$$I - Q = \frac{dS_r}{dt} \quad (2.26)$$

Όπου I είναι η παροχή εισροής, Q η παροχή εκροής και S_r η αποθήκευση.

Η σχέση αποθήκευσης με την εισροή και εκροή εκφράζεται μετά από απλοποίηση με τη γραμμική σχέση :

$$S_r = K[xI + (1-x)Q] \quad (2.27)$$

όπου x είναι το βάρος συμμετοχής της εισροής, $1-x$ το βάρος συμμετοχής της εκροής στην αποθήκευση του τμήματος του ποταμού, και K είναι σταθερά που προσεγγίζεται από το μέσο χρόνο διαδρομής της αιχμής της πλημμύρας δια μέσου του τμήματος υδατορεύματος (travelling time).

Με διακριτοποίηση των μεταβλητών στο χρόνο προκύπτει:

$$S_{r,i+1} - S_{r,i} = K[0.5x(I_{i+1} + I_i) + 0.5(1-x)(Q_{i+1} + Q_i)] \quad (2.28)$$

και τελικά προκύπτει η εξίσωση που δίνει την εκροή στο επόμενο χρονικό βήμα:

$$Q_{i+1} = C_0 I_{i+1} + C_1 I_i + C_2 Q_i \quad (2.29)$$

Όπου

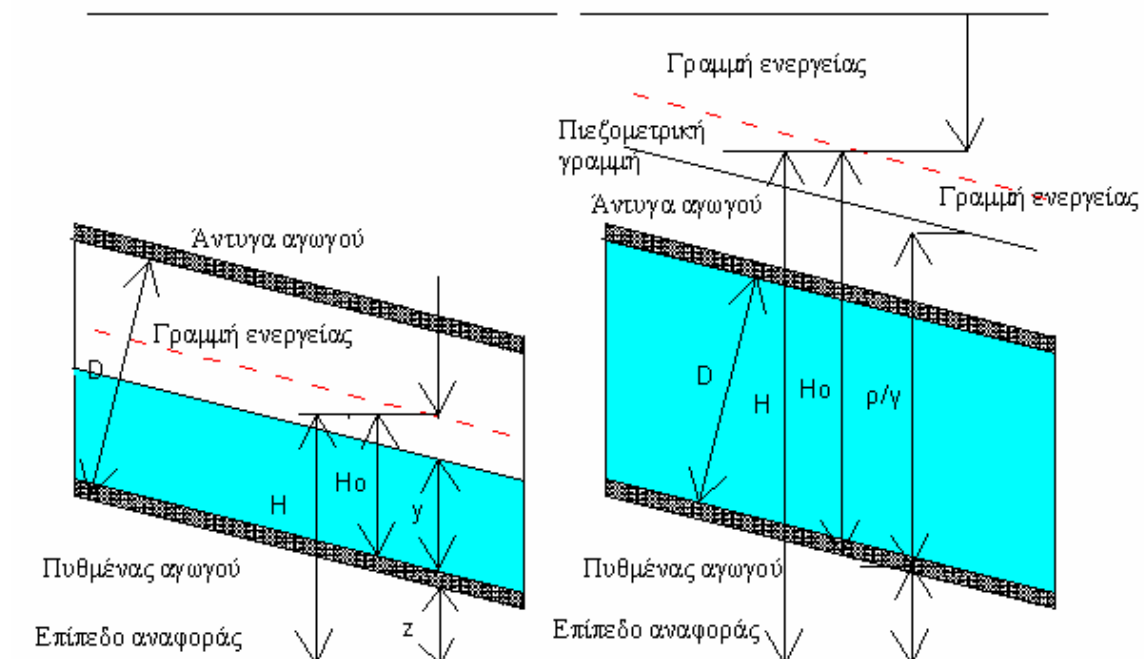
$$C_0 = \frac{-Kx + 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t}, \quad C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t}, \quad C_2 = \frac{(1-x)K - 0.5\Delta t}{k(1-x) + 0.5\Delta t}$$

Η διαδικασία υπολογισμών στηρίζεται στην Εξίσωση 2.28. Με βάση την εξίσωση αυτή, και με γνωστές τις αρχικές συνθήκες, δηλαδή την παροχή εισροής ανάντη και κατόντη και την παροχή εκροής ανάντη κατά τη χρονική στιγμή i , υπολογίζεται, κάθε φορά, η επόμενη τιμή της παροχής εκροής Q_{i+1} . Οι τιμές των παραμέτρων x και K θεωρούνται δεδομένες. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται υδρογραφήματα εισροής και εκροής του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού.

2.4 Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης με δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων

2.4.1 Γενικά

Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς οι αγωγοί αποχέτευσης ομβρίων σχεδιάζονται και λειτουργούν ως αγωγοί 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. Οι ελληνικοί κανονισμοί για την αποχέτευση θεωρούν υποχρεωτικό το σχεδιασμό των αγωγών ομβρίων ως αγωγών με ελεύθερη επιφάνεια. Σε άλλους, όμως, κανονισμούς θεωρείται επιτρεπτή η ολική πλήρωση των αγωγών ομβρίων, ή ακόμα επιτρέπεται και μικρή πίεση. Ωστόσο, η εμφάνιση σημαντικής πίεσης στη ροή των αγωγών αποχέτευσης είναι απαράδεκτη, γιατί θα είχε 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. Ωστόσο, για την διαστασιολόγηση των αγωγών γίνεται η παραδοχή μόνιμης ομοιόμορφης ροής και οι υπολογισμοί γίνονται για τις συνθήκες αιχμής, όταν δηλαδή η παροχή είναι μέγιστη. Η αγνόηση των φαινομένων μη μονιμότητας (κύματα ελεύθερης επιφάνειας ή κύματα πίεσης) είναι δικαιολογημένη όταν εξετάζονται μεμονωμένοι αγωγοί ενός δικτύου και οι διακυμάνσεις της παροχής στο χρόνο είναι ήπιες. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, όπως στον υπολογισμό ενός μεγάλου μήκους και σημαντικής διατομής συλλεκτήρα ομβρίων, τα φαινόμενα μη μονιμότητας δεν μπορούν να αγνοηθούν. Κατά μήκος ενός αγωγού αποχέτευσης συμβαίνουν πολύ συχνές μεταβολές, όπως, για παράδειγμα, αύξηση της παροχής, μεταβολή της διατομής ή αλλαγή της κλίσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η ροή είναι γενικά ανομοιόμορφη. Όμως και πάλι κατά την διαστασιολόγηση και τον έλεγχο των αγωγών γίνεται η παραδοχή ομοιόμορφης ροής κατά τμήματα. Το Σχήμα 2.4 δίνει τα χαρακτηριστικά μεγέθη της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε υπονόμους ελεύθερης ροής και αγωγούς υπό πίεση.



Σχήμα 2.4: Χαρακτηριστικά μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε υπονόμους ελεύθερης ροής και αγωγούς υπό πίεση. (από Κουτσογιάννης, 1999, μετά από τροποποίηση)

Όπου:

z : Υψόμετρο πυθμένα
 y : Βάθος ροής
 p/γ : Πιεζομετρικό ύψος (p = πίεση, γ = ειδικό βάρος)

$V^2/2g$: Ύψος κινητικής ενέργειας (V = ταχύτητα, g = επιτάχυνση βαρύτητας)

$H_o=p/\gamma+V^2/2g$: Ειδική ενέργεια

$H=z+p/\gamma+V^2/2g$: Ολική ενέργεια

2.4.2 Βασικές εξισώσεις μόνιμης ροής

Οι αποχετευτικοί αγωγοί σχεδιάζονται σε συνθήκες μόνιμης ροής, αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη μόνον οι μεταβολές των χαρακτηριστικών ροής στην κύρια κατεύθυνση και αγνοούνται οι μεταβολές στις κάθετες διευθύνσεις. Η μόνιμη ροή περιγράφεται από τρεις εξισώσεις, την εξίσωση συνέχειας (αρχή διατήρησης της μάζας), την εξίσωση ορμής και την εξίσωση ενέργειας. Οι εξισώσεις αυτές αναφέρονται στον όγκο αναφοράς που ορίζεται από δύο διατομές 1 (ανάντη) και 2 (κατάντη) κάθετες στην κύρια διεύθυνση ροής. Η εξίσωση συνέχειας έχει τη μορφή:

$$Q_1 = Q_2 \Leftrightarrow A_{w1}V_1 = A_{w2}V_2 \quad (2.30)$$

Όπου Q η παροχή, A_w η υγρή διατομή και V η μέση ταχύτητα ροής, ενώ οι δείκτες αντιστοιχούν στις διατομές αναφοράς. Στην περίπτωση κόμβων με πολλές εισόδους Q_i και εξόδους Q_j η εξίσωση συνέχειας γράφεται:

$$\sum_i Q_i = \sum_j Q_j \quad (2.31)$$

Η εξίσωση 2.31 ισχύει πάντα στους αγωγούς αποχέτευσης υπό συνθήκες μόνιμης ροής. Το γεγονός ότι οι παροχές σχεδιασμού διαφόρων κλάδων που συμβάλλουν σε έναν κόμβο δεν ικανοποιούν την 2.31 δεν αποτελεί υδραυλικό παράδοξο. Αφού κατά την μελέτη κάθε ξεχωριστού κλάδου θεωρείται ως παροχή σχεδιασμού η μέγιστη που περνάει από το συγκεκριμένο κλάδο.

Η εξίσωση ορμής είναι διανυσματική και σε κάθε διεύθυνση ($k = 1, 2, 3$) γράφεται:

$$\sum F_k = \rho_w Q [(\beta V_k)_2 - (\beta V_k)_1] \quad (2.32)$$

Όπου $\sum F_k$ το άθροισμα κατά την διεύθυνση k συνιστωσών των εξωτερικών δυνάμεων που ενεργούν στον συγκεκριμένο όγκο αναφοράς μεταξύ των διατομών 1 και 2, ρ_w η πυκνότητα του ρευστού, V_k η συνιστώσα της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση k και β ο συντελεστής συνόρθωσης ορμής. Σε προβλήματα αγωγών αποχέτευσης, λόγω της τυρβώδους ροής που συνήθως αναπτύσσεται η τιμή του β μπορεί να θεωρηθεί ίση με 1, χωρίς να εισάγονται σημαντικές ανακρίβειες. Στις εξωτερικές δυνάμεις F_k περιλαμβάνονται (α) οι δυνάμεις πιέσεων στις διατομές 1 και 2, (β) οι δυνάμεις πιέσεων στα στερεά όρια του όγκου αναφοράς μεταξύ των διατομών 1 και 2, (γ) οι συρτικές δυνάμεις στα στενά όρια του όγκου αναφοράς και (δ) το βάρος του όγκου αναφοράς. Η εξίσωση ενέργειας μεταξύ των δύο διατομών γράφεται:

$$H_1 = H_2 + \sum h_{f,1 \rightarrow 2} \quad (2.33)$$

Όπου $\sum h_{f,1 \rightarrow 2}$ οι απώλειες ενέργειας (μονάδες μήκους). Οι απώλειες ενέργειας περιλαμβάνουν τις γραμμικές απώλειες που οφείλονται σε συρτικές δυνάμεις στα τοιχώματα και τις τοπικές απώλειες που εμφανίζονται σε σημεία έντονης μεταβολής της ροής. Σημειώνεται ότι το ύψος ενέργειας σε μονάδες μήκους σε κάθε θέση αποτελείται από: το υψόμετρο πυθμένα, το πιεζομετρικό ύψος και το ύψος κινητικής ενέργειας. Αυτά συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (2.34)$$

2.4.3 Απώλειες τριβής

Από τις διάφορες σχέσεις απωλειών τριβής (γραμμικές απώλειες) η σχέση Darcy-Weisbach αποτελεί την πληρέστερη προσέγγιση εξαιτίας της διαστατικής ομογένειας της και της γενικότητας της για οποιοδήποτε είδος ρευστού και υπό οποιοσδήποτε συνθήκες ροής. Η σχέση του Darcy-Weisbach που δίνει το γραμμικό ύψος απωλειών h_f γράφεται:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.35)$$

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:

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.36)$$

Όπου ν η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού καθώς και από την σχετική ταχύτητα k/D . Ο συντελεστής f για τυρβώδη ροή ($\text{Re} > 4000$) δίνεται από τον τύπο των Colebrook White και είναι:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \ln \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (2.37)$$

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

$$S_f = \frac{h_f}{L} = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.38)$$

Η σχέση Darcy-Weisbach είναι διαδεδομένη σε προβλήματα ροής υπό πίεση σε σωλήνες κυκλικής διατομής. Ωστόσο δεν έχει διαδεδομένη χρήση σε προβλήματα ανοιχτών αγωγών. Ο βασικός λόγος είναι η σχετική πολυπλοκότητα στις αριθμητικές εφαρμογές. Ακόμα 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 δίνεται από τη σχέση:

$$V = (1/n) R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.39)$$

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:

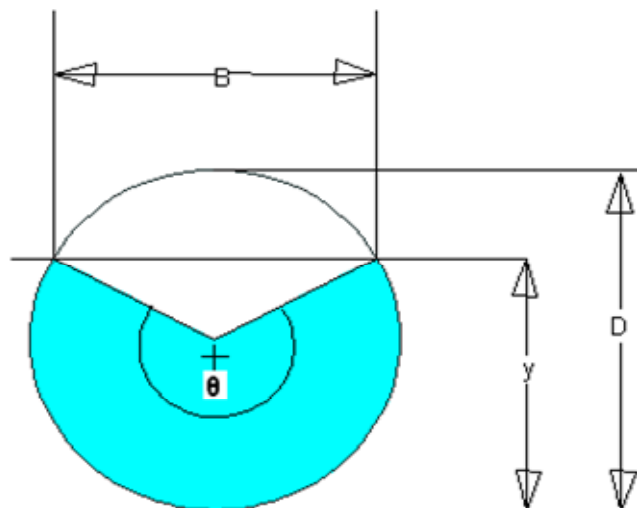
$$n = (f / 8g)^{1/2} R^{1/6} \quad (2.40)$$

2.4.4 Υπολογισμός ομοιόμορφης ροής σε σωλίνες κυκλικής διατομής

Στα τυπικά δίκτυα ομβρίων συνήθως εφαρμόζονται αγωγοί κυκλικής διατομής με ελεύθερη επιφάνεια. Στα προβλήματα μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε αγωγούς ομβρίων προσδιορίζονται μεγέθη όπως η παροχή αιχμής, η ταχύτητα, το βάθος ροής, προκειμένου να γίνει η διαστασιολόγηση των διατομών ή η βαθμονόμηση του συντελεστή τραχύτητας ή της κλίσης του αγωγού. Στον Πίνακα 2.5 φαίνονται αναλυτικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση ενώ στο Σχήμα 2.5 αναπαρίσταται η γεωμετρία ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση.

Πίνακας 2.5: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση (Κουτσογιάννης, 1999).

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Μερική πλήρωση ($y < D$)
Λόγος πλήρωσης y/D	$y/D = (1 - \cos(\theta/2))/2$
Γωνία θ	$\theta = 2\arccos(1 - 2y/D)$
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 στην 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, 1999, μετά από τροποποίηση)

Στην περίπτωση της μόνιμης, ομοιόμορφης ροής ($S_0 = S_f$) με εφαρμογή του τύπου του Manning παίρνουμε τις ακόλουθες σχέσεις για ροή σε κυκλικό αγωγό:

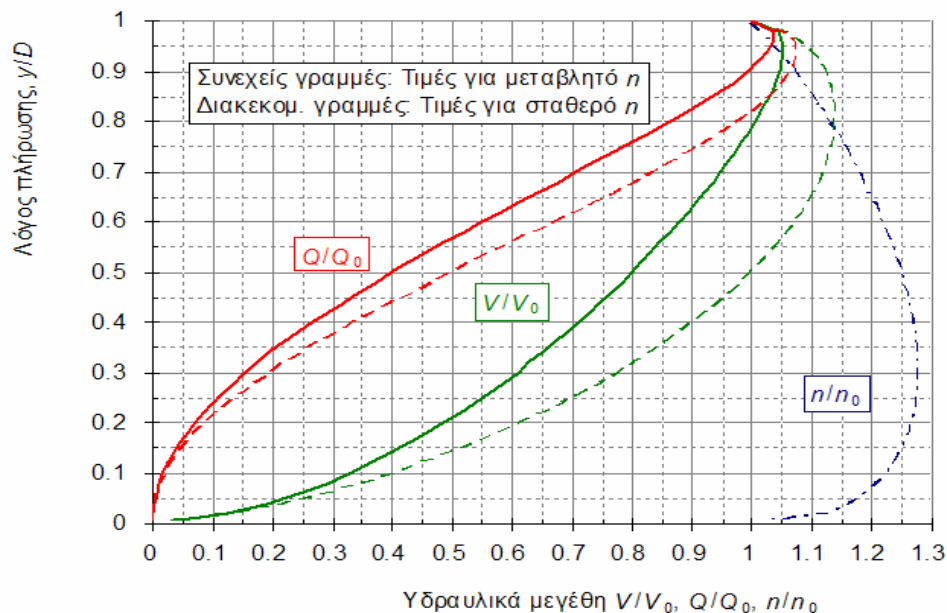
$$Q = \frac{1}{n} A_w R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2.41)$$

$$Q = \frac{1}{2 \cdot 4^{5/3}} \frac{1}{n} \theta \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{5/3} D^{8/3} S_0^{1/2} \quad (2.42)$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_0} D^{8/3} S_0^{1/2} \quad (2.43)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n_0}{n} \frac{\theta}{2\pi} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{5/3} \quad (2.44)$$

Όπου Q είναι η παροχή του αγωγού για μερική πλήρωση, Q_0 για ολική πλήρωση, y το βάθος ροής, n και n_0 οι συντελεστές τραχύτητας για ολική και μερική πλήρωση αντίστοιχα. Ο λόγος Q/Q_0 είναι ανεξάρτητος της διαμέτρου D και της κλίσης του πυθμένα S_0 και εξαρτάται από την γωνία θ ή ισοδύναμα από το λόγο πλήρωσης y/D καθώς και από τον λόγο των συντελεστών τραχύτητας n/n_0 . Η μεταβολή του λόγου n/n_0 συναρτηθεί του λόγου πλήρωσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.6



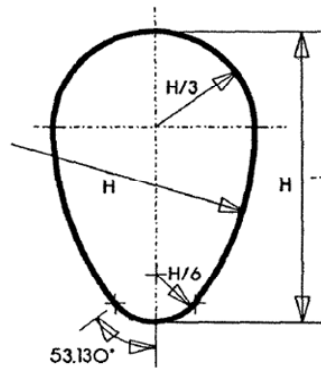
Σχήμα 2.6: Μεταβολή των υδραυλικών μεγεθών ροής με ελεύθερη επιφάνεια σε κυκλικούς αγωγούς συναρτηθεί του λόγου πλήρωσης y/D (Πηγή: Κουτσογιάννης 1999).

Η καμπύλη του Σχήματος 2.6 αντιστοιχεί στις παρακάτω σχέσεις:

$$n/n_0 = 1 + 0.62(y/D)^{0.4}(1 - y/D)^{0.9} \quad (2.45)$$

$$n/n_0 = 1 + 2.31(\theta/2\pi)^{1.2}(1 - \theta/2\pi)^2 \quad (2.46)$$

Στο Σχήμα 2.6, παρουσιάζονται τα μεγέθη V/V_0 και Q/Q_0 συναρτηθεί του y/D . Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένοι συλλεκτήρες ομβρίων σχεδιάζονται με διατομές μη κυκλικές. Η πιο συνηθισμένη από τις μη κυκλικές διατομές είναι η κλειστή ορθογωνική διατομή αλλά και η ωοειδής. Η ωοειδής διατομή και γενικότερα οι διατομές με σχήμα πυθμένα που πλησιάζει το V , υπερέχουν υδραυλικά δεδομένου ότι εξασφαλίζουν αρκετά μεγάλες ταχύτητες ακόμα και για μικρά βάθη ροής. Στο Σχήμα 2.7 αναπαρίσταται μια τυπική ωοειδής διατομή αγωγών ομβρίων. Για ορθογωνικές και ωοειδείς διατομές δεν ισχύουν οι σχέσεις που προαναφέρθηκαν αφού αλλάζει η γεωμετρία ροής.



Σχήμα 2.7: Τυπική ωοειδής διατομή (Πηγή: Κουτσογιάννης 1999).

Από όλες τις πιθανές διατομές των αγωγών, που μπορούν να μεταφέρουν την συγκεκριμένη παροχή που απαιτείται στο υδραυλικό σύστημα, αποδοτικότερη υδραυλικά, θεωρείται η διατομή με τις μικρότερες δυνατές διαστάσεις.

2.4.5 Βήματα σχεδιασμού και προδιαγραφές αγωγών αποχέτευσης ομβρίων σε συνθήκες μόνιμης ροής

Στον σχεδιασμό αποχέτευσης ομβρίων υπεισέρχονται δύο στάδια υπολογισμών. Αρχικά υπολογίζεται η παροχή σχεδιασμού με την βοήθεια της ορθολογικής μεθόδου και εν συνεχεία ο αγωγός διαστασιολογείται με την παραδοχή μόνιμης ομοιόμορφης ροής με ελεύθερη επιφάνεια. Κατά το πρώτο στάδιο, προσδιορίζεται η παροχή Q με βάση τη σχέση 2.24. Στη σχέση αυτή η ένταση της βροχόπτωσης i λαμβάνεται από την όμβρια καμπύλη της θεωρούμενης λεκάνης και είναι συνάρτηση της διάρκειας και της περιόδου επαναφοράς. Αν δεν είναι γνωστή κάποια όμβρια καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί η 2.10.

Η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού λαμβάνεται ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης t_c της θεωρούμενης λεκάνης στη θέση της διατομής του αγωγού που σχεδιάζεται. Ο χρόνος αυτός είναι το άθροισμα των δύο επιμέρους χρόνων : (α) του χρόνου εισόδου t_e , ο οποίος απαιτείται για να φτάσει το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της αποχετευόμενης επιφάνειας στο σημείο εισόδου στο δίκτυο ομβρίων (τυπικά ένα φρεάτιο εισόδου) και (β) του χρόνου ροής του νερού εντός των αγωγών του δικτύου t_f . Αναλυτικά ισχύει:

$$t_c = t_e + t_f \quad (2.47)$$

Ο χρόνος εισόδου εξαρτάται από: (α) το μήκος της διαδρομής L_e από το πιο απομακρυσμένο σημείο της αποχετευόμενης επιφάνειας στο πλησιέστερο φρεάτιο και (β) από την ταχύτητα της επίγειας ροής του νερού V_e κατά μήκος αυτής της διαδρομής. Το μήκος L_e εξαρτάται από την χωρική πυκνότητα των φρεατίων εισόδου (πλήθος φρεατίων ανά μονάδα επιφάνειας) και την μορφή των συνδέσεων των αποχετευόμενων επιφανειών στο δίκτυο. Η ταχύτητα ροής V_e εξαρτάται από την ένταση της βροχής αλλά και από τις ταχύτητες των υπόλοιπων υδρολογικών διεργασιών παραγωγής της απορροής (συγκράτηση από τη φυτοκόμμη, διήθηση) οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζονται από τα φυσικά χαρακτηριστικά της θεωρούμενης επιφάνειας (έδαφος, φυτοκάλυψη). Ακόμη η ταχύτητα ροής V_e εξαρτάται από υδραυλικές παραμέτρους όπως είναι η υδραυλική τραχύτητα και η κλίση της θεωρούμενης επιφάνειας. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η ακριβής εκτίμηση του χρόνου εισόδου είναι εξαιρετικά δύσκολη, λόγω των πολλών παραγόντων που τον επηρεάζουν. (Τσακίρης, 2010) Σε μελέτες αποχέτευσης ομβρίων οι ελληνικές προδιαγραφές δέχονται μια σταθερή τιμή ίση με 10min.

Ο χρόνος ροής t_f προκύπτει ίσος με:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (2.48)$$

Όπου n το πλήθος των αγωγών του δικτύου ανάντη της εξεταζόμενης θέσης, κατά μήκος της διαδρομής του νερού L_i το μήκος του αγωγού i και V_i η μέση ταχύτητα διατομής του νερού στο αγωγό i . Σε περίπτωση ύπαρξης πολλών εναλλακτικών διαδρομών του νερού λαμβάνεται η μέγιστη τιμή του χρόνου ροής στις διαδρομές αυτές.

Το τελευταίο στοιχείο που απαιτείται για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού είναι η έκταση της λεκάνης απορροής. Στην περίπτωση των αγωγών αποχέτευσης ομβρίων, ως λεκάνη απορροής θεωρείται όλη η επιφάνεια από την οποία το νερό αποχετεύεται στη θεωρούμενη διατομή. Η τελευταία είναι η ανάντη διατομή του εξεταζόμενου κάθε φορά αγωγού, ακριβώς κατάντη ενός φρεατίου εισόδου στο δίκτυο. Η παραπάνω λεκάνη συχνά αναφέρεται ως υπολεκάνη απορροής και περιλαμβάνει τμήματα οικοδομικών τετραγώνων, δρόμους πρασιές και άλλους χώρους αστικών περιοχών.

Κατά το δεύτερο στάδιο, οι υπολογισμοί για την διαστασιολόγηση του αγωγού γίνονται με βάση όσα αναφέρθηκαν στο εδάφιο 2.4.4.

Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές για αγωγούς ομβρίων (Π.Δ 696/74) κατά τον σχεδιασμό ομβρίων εφαρμόζονται οι παρακάτω περιορισμοί:

1. Περιορισμός ελάχιστης απαιτούμενης διαμέτρου (εσωτερικής).
2. Περιορισμός μέγιστου λόγου πλήρωσης.
3. Περιορισμός μέγιστης ταχύτητας ροής.
4. Περιορισμός ελάχιστης επιτρεπόμενης κλίσης.

Πίνακας 2.6: Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές

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 λειτουργίας δικτύου ομβρίων υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής.

Οι μελετητές σήμερα σχεδιάζουν τους αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων σε συνθήκες μόνιμης, ομοιόμορφης ροής και οι υπολογισμοί γίνονται για τις συνθήκες αιχμής, χρησιμοποιώντας τις μεθοδολογίες που προαναφέραμε. Όμως, η παραδοχή μόνιμης ομοιόμορφης ροής είναι προσεγγιστική και όχι κατάλληλη για την παρακολούθηση της εξέλιξης των χαρακτηριστικών ροής κάτω από τις πραγματικές συνθήκες. Η ροή στα δίκτυα αποχέτευσης είναι μη μόνιμη και περιγράφεται από πολύπλοκες εξισώσεις οι οποίες δεν είναι δυνατό να επιλυθούν γρήγορα χωρίς Η/Υ. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ολοκληρωμένα μοντέλα προσομοίωσης δικτύων ομβρίων τα οποία αφού τροφοδοτηθούν με διάφορα δεδομένα τοπολογίας και γεωμετρίας του δικτύου και τα χωροχρονικά δεδομένα της εξέλιξης μιας συγκεκριμένης καταιγίδας εξάγουν την χωροχρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών ροής στο σύνολο του δικτύου ομβρίων. Τα μοντέλα αυτά αποτελούν συνδυασμό υδρολογίας και υδραυλικής με αξιοποίηση και της πληροφορικής. Με την χρήση σύγχρονων μοντέλων δικτύων ομβρίων επιτυγχάνεται :

- Μη συμβατικός σχεδιασμός δικτύων που υποκαθιστά τον κλασσικό σχεδιασμό της ορθολογικής μεθόδου. Εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε μεγάλα δίκτυα που χαρακτηρίζονται από σημαντικό όγκο αποθήκευσης.
- Βελτιστοποίηση σχεδιασμού δικτύων.
- Έλεγχος της λειτουργίας δικτύων κάτω από διάφορα σενάρια καταιγίδων. Εφαρμογή γεγονότων βροχόπτωσης ακόμα και για πολύ μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δικτύου υπό συνθήκες υδραυλικής φόρτισης δυσμενέστερες των συνθηκών σχεδιασμού
- Βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων, σε περίπτωση που έχει έννοια η βελτιστοποίηση (π.χ. αν περιλαμβάνονται δεξαμενές ανάσχεσης με θυροφράγματα, αντλιοστάσια ή άλλες συσκευές ελέγχου)

Οι μέθοδοι που κατά κανόνα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της λειτουργίας δικτύων ομβρίων είναι συγκεντρωτικά οι ακόλουθες:

1. *Επιφανειακή ροή.* Χρησιμοποιούνται υδρολογικά μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής που περιλαμβάνουν και διαδικασίες εκτίμησης των υδρολογικών απωλειών.
2. *Ροή με ελεύθερη επιφάνεια σε αγωγούς.* Χρησιμοποιούνται δύο τύποι μοντέλων διόδευσης: (α) υδραυλικά μοντέλα διόδευσης πλημμύρων βασισμένα σε αριθμητικές μεθόδους επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων μη μόνιμης ροής (π.χ. διόδευση δυναμικού κύματος, διόδευση κινηματικού κύματος), (β) υδρολογικά μοντέλα διόδευσης πλημμύρων βασισμένα σε εννοιολογικές μεθόδους (π.χ. μέθοδος Muskingum).
3. *Ροή υπό πίεση σε αγωγούς.* Η ροή υπό πίεση εμφανίζεται όταν οι αγωγοί υπερφορτωθούν κάτω από πλημμυρικές συνθήκες δυσμενέστερες των συνθηκών σχεδιασμού.(Κουτσογιάννης, 1999)

2.4.7 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής με ελεύθερη επιφάνεια

Το πρόβλημα της διόδευσης μιας πλημμύρας, δηλαδή η μαθηματική αναπαράσταση ενός πλημμυρικού φαινομένου στο χώρο και στον χρόνο, περιγράφεται ικανοποιητικά από τις διαφορικές εξισώσεις μονοδιάστατης, μη μόνιμης ροής βαθμιαίας μεταβολής σε ανοιχτούς αγωγούς (Saint Venant). Οι εξισώσεις αυτές θα αναλυθούν παρακάτω. Στον Πίνακα 2.7 δίνονται συγκεντρωτικά τα μεγέθη και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των εξισώσεων μη μόνιμης ροής. Προφανώς, αφού η ροή είναι μη μόνιμη και με ελεύθερη

επιφάνεια, όλα τα γεωμετρικά και υδραυλικά μεγέθη είναι συναρτήσεις του χρόνου και του χώρου (της θέσης της διατομής κατά μήκος του αγωγού).

Πίνακας 2.7: Γεωμετρικά και υδραυλικά μεγέθη μη μόνιμης ροής. (Κουτσογιάννης, 1999)

x	Παράλληλος με την κύρια διεύθυνση της ροής άξονας συντεταγμένων
t	Χρόνος
$z(x)$	Υψόμετρο πυθμένα
$y(x,t)$	Βάθος ροής
$V(x,t)$	Μέση ταχύτητα κατά την διεύθυνση x 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 ($y_m = A_w/B$)
$Q(x,t)$	Παροχή υγρής διατομής
$r(x,t)$	Πλευρική εισροή (Παροχή ανά μονάδα πλάτους)
$H(x,t)$	Ολικό ύψος ενεργείας
$Fr(x,t)$	Αριθμός Froude ($Fr = V/(gy_m)^{1/2}$)
$S_0(x,t)$	Κλίση του πυθμένα ($S_0 = dz/dx$)
S_f	Κλίση τριβών

Η πρώτη εξίσωση που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της μη μόνιμης ροής σε ανοιχτούς αγωγούς είναι η εξίσωση συνέχειας και γράφεται:

$$\frac{\partial A_w}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r \quad (2.49)$$

Η 2.49 στην οποία το βασικό μέγεθος είναι η παροχή, λέγεται και συντηρητική μορφή της εξίσωσης συνέχειας. Μια άλλη ισοδύναμη μορφή της, στην οποία το βάθος ροής και η ταχύτητα έχουν αντικαταστήσει την επιφάνεια και την παροχή, είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + y_m \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{r}{B} \quad (2.50)$$

Με ολοκλήρωση ως προς x της διαφορικής εξίσωσης 2.49 μεταξύ των διατομών 1 (άναντη) και 2 (κατάντη), προκύπτει η ακόλουθη μορφή της εξίσωσης συνέχειας:

$$\frac{\partial S(t)}{\partial t} = I(t) - Q(t) + R(t) \quad (2.51)$$

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

$$S(t) = \int_{x_1}^{x_2} A(x,t) dx \quad (2.52)$$

$$R(t) = \int_{x_1}^{x_2} r(x,t) dx \quad (2.53)$$

Η δεύτερη εξίσωση που περιγράφει τη μη μόνιμη ροή σε ανοιχτούς αγωγούς είναι η εξίσωση της κίνησης (ή δυναμική εξίσωση) η οποία είναι η εξής:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f \quad (2.54)$$

Στην 2.54 έχει υποθεθεί πως η πλευρική εισροή r , εισέρχεται κάθετα προς την κύρια κατεύθυνση της ροής, ώστε δεν επηρεάζει την ποσότητα κίνησης κατά x .

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει την ισορροπία των ακόλουθων μεγεθών εκφρασμένων ανά μονάδα βάρους:

- Δυνάμεις βαρύτητας (όρος S_o)
- Δυνάμεις τριβής (όρος S_f)
- Διαφορά δυνάμεων πίεσης (όρος $\partial y / \partial x$)
- Μεταθετικής επιτάχυνσης (όρος $(V / g)(\partial V / \partial x)$)
- Τοπικής επιτάχυνσης (όρος $(1 / g)(\partial V / \partial t)$)

Αν παραλειφθούν όλοι οι όροι του πρώτου μέλους τότε η 2.54 παίρνει την απλούστατη μορφή $S_o = S_f$ που ταυτίζεται με την εξίσωση ενέργειας για μόνιμη 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 διαφορά δυνάμεων πίεσης χαρακτηρίζεται ως κύμα διάχυσης.

2.4.8 Κρίσιμο βάθος και ιδιότητες υποκρίσιμης και υπερκρίσιμης ροής

Για δεδομένη γεωμετρία του αγωγού και παροχή Q , σε ροή με ελεύθερη επιφάνεια, η ειδική ενέργεια δίνεται από τον τη σχέση 2.55:

$$H = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gA_w^2} \quad (2.55)$$

Να σημειωθεί ότι το εμβαδό της υγρής διατομής A_w , είναι συνάρτηση του βάθους ροής y , και δεν εξαρτάται από άλλα χαρακτηριστικά του αγωγού.

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

Για μεγαλύτερες τιμές της ειδικής ενέργειας $H_0 > H_c$ η ροή μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικά βάθη $y < y_c$ και $y > y_c$ τα οποία λέγονται εναλλακτά βάθη. Στην πρώτη περίπτωση η ροή ονομάζεται υπερκρίσιμη, ενώ στη δεύτερη περίπτωση υποκρίσιμη.

Το κρίσιμο βάθος είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της ροής και αποκτά ιδιαίτερης σημασία στην περίπτωση της ανομοιόμορφης ροής. Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα το κρίσιμο βάθος μπορεί να υπολογιστεί από τη συνθήκη $H_0 = \min$. Με παραγωγή της 2.55 προκύπτει η 2.56:

$$\frac{\partial H_0}{\partial y} = 1 - \frac{Q^2}{gA_w^3} \frac{dA_w}{dy} \quad (2.56)$$

Εξισώνοντας το πρώτο μέλος με 0, και με δεδομένο ότι $dA_w/dy = B$ όπου B το πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια του αγωγού, προκύπτει η εξίσωση (2.60):

$$\frac{Q^2 B_c}{g A_c^3} = 1 \quad (2.57)$$

Η 2.57 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κρίσιμου βάθους και είναι ισοδύναμη με τις ακόλουθες μορφές:

$$y_{m_c} = \frac{Q^2}{g A_c^2} = \frac{V_c^2}{g} \quad (2.58)$$

$$Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{g y_{m_c}}} = 1 \quad (2.59)$$

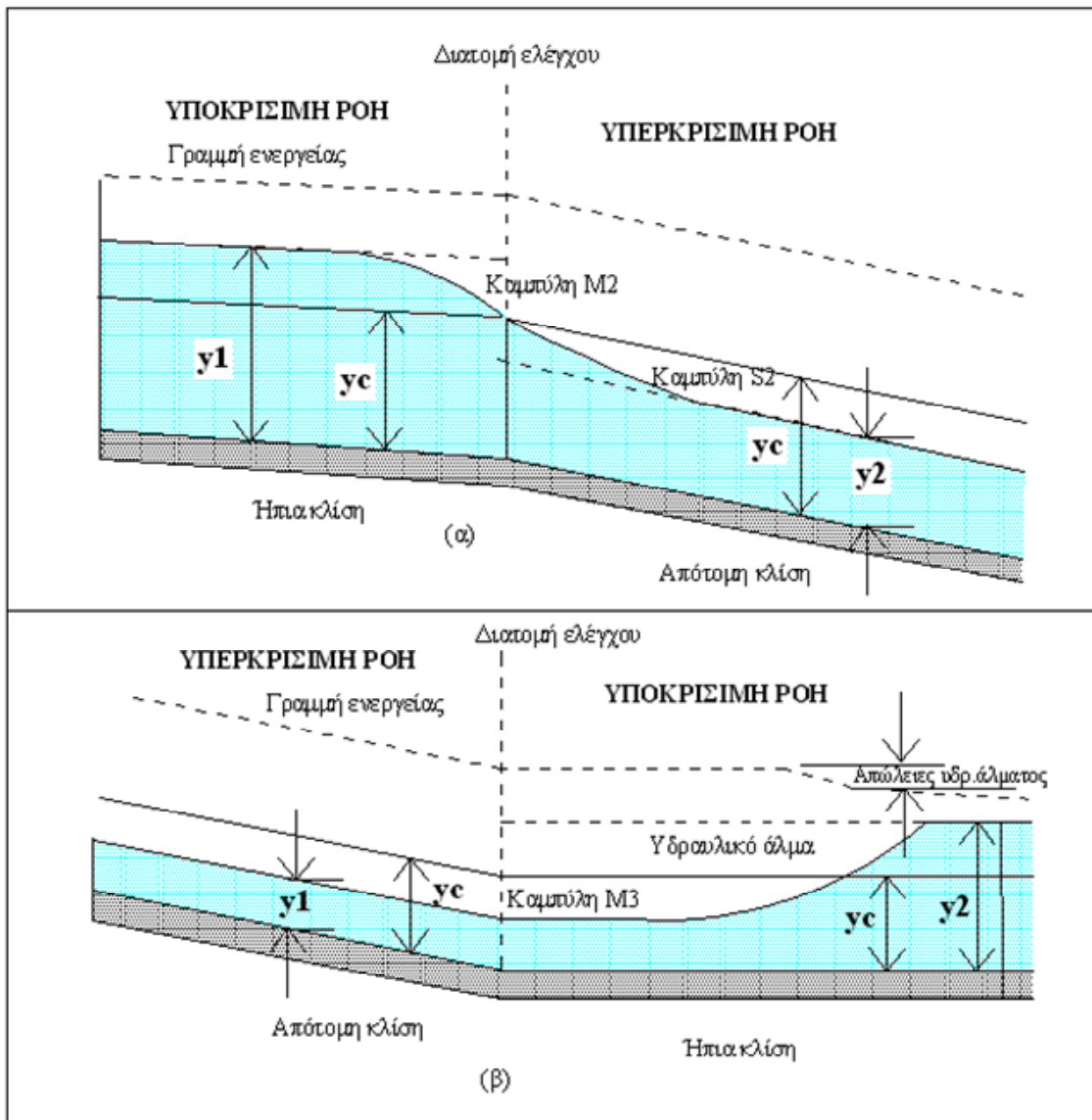
$y_m = A_w/B$ είναι το μέσο βάθος ροής που λέγεται και υδραυλικό βάθος και Fr είναι ο αριθμός Froude που εκφράζει το πηλίκο των δυνάμεων αδρανείας προς τις δυνάμεις βαρύτητας. Η ειδική ενέργεια που αντιστοιχεί στο κρίσιμο βάθος είναι:

$$H_{0_c} = y_c + \frac{y_{m_c}}{2} \quad (2.60)$$

Στην περίπτωση που η ροή είναι υποκρίσιμη ισχύουν τα ακόλουθα:

$$\begin{aligned} Fr &< 1 \\ y &> y_c \\ V &< V_c \\ S_0 &< S_{0c} \end{aligned}$$

Αντίστοιχες ανισώσεις με αντίστροφη φορά ισχύουν για την υπερκρίσιμη ροή. Για να διαπιστώσουμε αν η ροή με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι υποκρίσιμη η όχι, αρκεί να ελεγχθεί μια από τις παραπάνω ανισώσεις. Συνήθως, όταν αυξάνεται η κλίση ενός αγωγού προς τα κατόντη, μεταβαίνουμε από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη ροή και αυτή γίνεται με βαθμιαίο τρόπο, με εμφάνιση κρίσιμου βάθους στη διατομή αλλαγής κλίσης. Αντίθετα όταν μειώνεται η κλίση προς τα κατόντη, έχουμε μετάβαση από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη ροή και αυτή γίνεται με εμφάνιση υδραυλικού άλματος. Οι δύο παραπάνω καταστάσεις φαίνονται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6:Μετάβαση από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη ροή (α) και αντίστροφα (β).

Στα τυπικά δίκτυα αποχέτευσης επιδιώκεται να σχεδιάζονται οι αγωγοί με υποκρίσιμη ροή ή το πολύ με αριθμούς Froude λίγο μεγαλύτερους από 1. Αυτό γίνεται γιατί η υπερκρίσιμη ροή μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως:

- μεγάλες ταχύτητες ροής με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των αγωγών
- μεγάλο ύψος κινητικής ενέργειας με κίνδυνο εμφάνισης ανάστροφων ροών στις συμβολές με δευτερεύοντες αγωγούς
- εμφάνιση υδραυλικών αλμάτων, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σημαντικές τοπικές απώλειες ενέργειας και να αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των αγωγών

Ωστόσο, δεν είναι πάντα δυνατό να αποφευχθεί η υπερκρίσιμη ροή στους αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων. Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει να εντοπίζονται οι θέσεις των υδραυλικών αλμάτων και να ενισχύονται οι αγωγοί στις θέσεις αυτές.

2.4.9 Εξισώσεις μη μόνιμης ροής υπό πίεση για ασυμπίεστα ρευστά

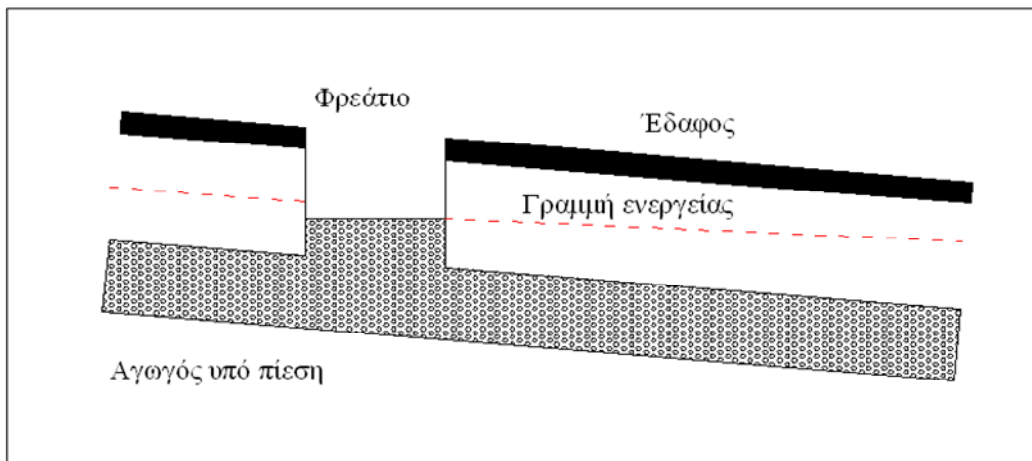
Με την προϋπόθεση ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο, οι εξισώσεις της μη μόνιμης ροής παίρνουν πολύ απλούστερες εκφράσεις στην περίπτωση των κλειστών αγωγών υπό πίεση, όπου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής είναι σταθερά. Πράγματι η εξίσωση συνέχειας κατά μήκος του αγωγού του Σχήματος 2.7 παίρνει τη μορφή:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.61)$$

Η 2.61 υποδηλώνει ότι η παροχή δεν είναι συνάρτηση του μήκους αλλά μόνο του χρόνου. Προφανώς το ίδιο ισχύει και για την ταχύτητα. Για την περίπτωση των κόμβων, όπως το φρεάτιο του Σχήματος 2.7 η εξίσωση συνέχειας παίρνει τη μορφή της 2.51 όπου $I(t)$ είναι η παροχή στην ανάντη διατομή του φρεατίου, $Q(t)$ είναι η παροχή στην κατάντη διατομή του φρεατίου, $R(t)$ είναι η παροχή εισροής στο φρεάτιο και $S(t)$ ο αποθηκευόμενος όγκος στο φρεάτιο. Αντίστοιχα η δυναμική εξίσωση 2.54 για τον αγωγό του Σχήματος 2.6 παίρνει τη μορφή:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial x} - S_f \quad (2.62)$$

Σύμφωνα με την 2.62, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση αυτή, δεν έχουμε δυνάμεις πίεσης, βαρύτητας και τριβής παρά μόνο τοπική επιτάχυνση, η οποία εξαρτάται από την μεταβολή της ενέργειας κατά μήκος του αγωγού και την κλίση της γραμμής ενεργείας. Η κλίση του πυθμένα δεν επηρεάζει τις τιμές της ταχύτητας και της παροχής αφού ο αγωγός είναι υπό πίεση.



Σχήμα 2.7 Επεξηγηματικό σκαρίφημα για τα μεγέθη της μη μόνιμης ροής σε κλειστούς αγωγούς

2.4.10 Διόδευση δυναμικού κύματος

Ο υπολογισμός των μεγεθών της μη μόνιμης ροής υπολογίζεται είτε από τις εξισώσεις Saint Venant, ή από την αντίστοιχη εξίσωση ορμής με ενσωματωμένο τον παράγοντα διόρθωσης της κατανομής της ταχύτητας β . Η τελευταία δίνεται σε δύο μορφές: (α) με την μορφή παροχής (εξίσωση 2.66) και (β) με την μορφή ταχύτητας (εξίσωση 2.67):

$$\frac{1}{gA_w} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta}{A_w} Q^2 \right) + \frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f = 0 \quad (2.63)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + (2\beta - 1) \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + (\beta - 1) \frac{V^2}{gA_w} \frac{\partial A_w}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f = 0 \quad (2.64)$$

Οι εξισώσεις αυτές αναφέρονται ως εξισώσεις δυναμικού κύματος γιατί λαμβάνουν υπόψη τους τις δυνάμεις βαρύτητας, τις δυνάμεις τριβής, την διαφορά των δυνάμεων πίεσης και τους αδρανειακούς όρους (τοπική και μεταθετική επιτάχυνση). Μαθηματικά οι εξισώσεις Saint Venant αποτελούν ζεύγη μερικών διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης υπερβολικού τύπου. Για τις εξισώσεις αυτές δεν μπορούν να βρεθούν αναλυτικές επιλύσεις, εκτός από μερικές ειδικές περιπτώσεις, όπου οι εξισώσεις αυτές απλοποιούνται ύστερα από γραμμικοποίηση. Γενικά επιλύονται αριθμητικά με διαφορικούς όρους, οι οποίοι προσεγγίζονται από πεπερασμένες διαφορές επιλεγμένων σημείων κανάβου σε ένα χωροχρονικό πεδίο ορισμού. Η αντικατάσταση των πεπερασμένων διαφορών σε μια μερική διαφορική εξίσωση την μετατρέπει σε αλγεβρική εξίσωση. Συνεπώς, οι αρχικές διαφορικές εξισώσεις μετατρέπονται σε ταυτόσημες αλγεβρικές εξισώσεις προς επίλυση. Οι εξισώσεις δυναμικού κύματος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν αριθμητικές λύσεις τους. Ένας τρόπος απλοποίησης είναι η παράλειψη κάποιων λιγότερο σημαντικών όρων (Mays, 1996). Μια τέτοια απλοποίηση μπορεί να οδηγήσει στην εξίσωση του κινηματικού κύματος που είναι σαφώς πιο απλή και θα περιγραφεί ακριβώς παρακάτω.

2.4.11 Διόδευση κινηματικού κύματος

Με βάση τις εξισώσεις 2.63 και 2.64, η απλούστερη προσέγγιση της εξίσωσης ορμής του Saint Venant είναι η διατήρηση μόνο των δύο τελευταίων όρων που αφορούν την κλίση και αγνοώντας όλους τους υπόλοιπους όρους που αφορούν την επίδραση της αδράνειας και της πίεσης. Πρόκειται λοιπόν για την διόδευση κινηματικού κύματος η οποία περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\frac{\partial A_w}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.65)$$

$$S_o = S_f \quad (2.66)$$

Η 2.65 ισοδυναμεί με την 2.49 μόνο που το δεύτερο μέλος δηλαδή η πλευρική εισροή ισούται με μηδέν. Το ζεύγος των παραπάνω διαφορικών εξισώσεων κινηματικού κύματος απαιτεί μόνο μια οριακή συνθήκη, επιπρόσθετα με την αρχική συνθήκη ώστε να προσδιοριστεί μοναδική λύση. Η συνθήκη αυτή εφαρμόζεται στο τέλος του ανάντη αγωγού και συνήθως πρόκειται για το υδρογράφημα εισροής στο σημείο αυτό. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί η λύση από τα ανάντη στα κατάντη, χωρίς να μας απασχολούν οι συνθήκες που επικρατούν στο κατάντη τμήμα. Όμως, η μέθοδος αυτή είναι αναξιόπιστη για συνθήκες υποκρίσιμης ροής όταν εμφανίζεται φαινόμενο backwater (επιρρασμός ροής εκ των κατάντη). Ακόμη, η παράλειψη των αδρανειακών όρων και των όρων πίεσης από τις εξισώσεις 2.63 και 2.64 καταργεί τον μηχανισμό μείωσης της αιχμής της πλημμύρας. Ωστόσο, επιλύοντας τις παραπάνω εξισώσεις με αριθμητική προσέγγιση πεπερασμένων διαφορών, αναμένουμε μικρότερες τιμές στα προσδιοριζόμενα μεγέθη. Αυτή η αριθμητική μείωση ουσιαστικά λειτουργεί θετικά και συνάδει με την πραγματικότητα όπου παρατηρείται μείωση της παροχής αιχμής λόγω επίδρασης των αδρανειακών όρων. Η προσέγγιση κινηματικού κύματος, πάρα το μειονέκτημα της να μην λαμβάνει υπόψη της τα ενδεχόμενα φαινόμενα backwater στο κατάντη τμήμα, εξαιτίας της απλότητας της χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό (Mays, 1996).

2.5 Διαθέσιμο λογισμικό

2.5.1 Εισαγωγή

Η συμπεριφορά ενός υδρολογικού ή υδραυλικού συστήματος υπό την επίδραση ενός γεγονότος βροχόπτωσης, περιγράφεται από τις πολύπλοκες διαφορικές εξισώσεις που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα εδάφια. Η επίλυση αυτών των εξισώσεων είναι εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα. Η ανάγκη, όμως, για παρακολούθηση αυτών των φαινομένων, υπό πραγματικές συνθήκες οδήγησε στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων. Τα διάφορα υπολογιστικά μοντέλα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις διεργασίες που μοντελοποιούνται. Εμείς, θα ασχοληθούμε με διεργασίες που αφορούν την συμπεριφορά υδρολογικών λεκανών απορροής και την συμπεριφορά δικτύων αγωγών υπό πίεση ή ελεύθερη επιφάνεια. Οι διαδικασίες που σχετίζονται με τις λεκάνες απορροής, καθορίζουν πως η βροχόπτωση που φθάνει στο έδαφος απορρέει στη λεκάνη. Οι διεργασίες απορροής περιλαμβάνουν την εξάτμιση τη διαπνοή, τη διήθηση, και την επίγεια και υπεδάφια ροή και αφορούν μη αστικές λεκάνες. Η μοντελοποίηση αυτών των διεργασιών παρέχει πληροφορίες για τις αιχμές της πλημμύρας και για χρονοσειρές του όγκου της πλημμύρας. Τα μοντέλα που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή, είναι το HEC-1, τα TR-20 και TR-55, και το SSARR και θα περιγραφούν συνοπτικά παρακάτω. Όσον αφορά τις διαδικασίες ροής υπό πίεση, αυτές καθορίζουν πως το νερό ρέει υπό πίεση σε κλειστούς αγωγούς. Για την διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων σε αστικές λεκάνες οι αγωγοί συχνά σχεδιάζονται να λειτουργούν ως κλειστοί αγωγοί, υπό πίεση κάτω από τις συνθήκες σχεδιασμού αλλά και κάτω από δυσμενέστερες συνθήκες. Τα μοντέλα που εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία είναι το SWMM και το HYDRA. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί μόνο το λογισμικό του HYDRA, ενώ το SWMM που είναι και το πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε θα περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Τέλος, περιγράφεται το μοντέλο HEC-2 και UNET τα οποία χρησιμοποιούνται για υπολογισμούς διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε δίκτυα ανοιχτών αγωγών.

2.5.2 HEC-1

Πρόκειται για ένα μεμονωμένου γεγονότος μοντέλο με την έννοια ότι αναφέρεται σε μια χρονική περίοδο λεπτών (min) έως και μερικών ημερών. Το HEC-1 έχει την δυνατότητα εκτίμησης της απορροής από την βροχή. Στο πρόγραμμα είναι ενσωματωμένα διάφορα εννοιολογικά μαθηματικά μοντέλα. και ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποια από αυτά θα χρησιμοποιηθούν. Τα μοντέλα αυτά είναι τα εξής: (α) Απωλειών (loss models) (β) Χιονόπτωσης και τήξης χιονιού (snowfall and snowmelt models), (γ) Μετατροπών απορροής (runoff transforms)

Για να εκτιμηθεί η απορροή μιας λεκάνης με το HEC-1 ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τα παρακάτω δεδομένα:

1. *Βροχόπτωση*. Εισάγεται είτε ως το μέσο ύψος βροχόπτωσης στη λεκάνη είτε ως το ύψος βροχόπτωσης που καταγράφεται στους βροχογράφους. Εισάγεται, επίσης, μια χρονική κατανομή της βροχής.
2. *Φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης*. Καθορισμός των ορίων της λεκάνης απορροής και ενδεχομένως των υπολεκανών απορροής.
3. *Παράμετροι μοντέλου*. Καθορισμός των κατάλληλων παραμέτρων για τα μοντέλα απωλειών, μετατροπής απορροής, υπεδάφιας απορροής και διόδευσης.
4. *Παράμετροι προσομοίωσης*. Καθορισμός χρονικού βήματος και διάρκεια της προσομοίωσης.

Τα εξαγόμενα του μοντέλου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: (α) μια συνοπτική αναφορά των δεδομένων εισαγωγής του χρήστη, (β) για κάθε υπολεκάνη το μέσο ύψος βροχόπτωσης, τις

απώλειες και το περίσσειμα σε κάθε βήμα της προσομοίωσης μαζί με μια αναφορά όπου παρουσιάζονται οι υπολογισμένες τεταγμένες του υδρογραφήματος απορροής, (γ) για κάθε ρέμα που μοντελοποιείται, μια αναφορά των τεταγμένων εκροής του υδρογραφήματος μαζί με πίνακες που δείχνουν τις παροχές αιχμής της πλημμύρας καθώς και τους χρόνους αιχμής στα σημεία ελέγχου του συστήματος.

2.5.3 TR-20 και TR-55

Πρόκειται για μοντέλα μεμονωμένου γεγονότος, με τα οποία εκτιμώνται πλήρεις χρονοσειρές, αιχμές και όγκοι πλημμύρας. Τα δύο παραπάνω προγράμματα είναι μοντέλα απορροής που σχεδιάστηκαν από την SCS (Soil Conservation Service). Το TR-55 υπολογίζει αιχμές, όγκους και χρονοσειρές από μια μεμονωμένη λεκάνη. Το TR-20 χρησιμοποιεί πανομοιότυπες διαδικασίες για να υπολογίσει αιχμές, όγκους χρονοσειρές και επιπρόσθετα μοντέλα ποτάμιων διαδικασιών ώστε να διοδεύσει και να συνδυάσει υδρογραφήματα απορροής διαφορετικών λεκανών που καταλήγουν στο ίδιο σημείο εκβολής. Αρχικά, καθορίζεται ένα νετόγραμμα βροχόπτωσης για τη λεκάνη που μελετάται, υπολογίζονται οι απώλειες και τέλος, ένας μετατροπέας απορροής μετατρέπει την βροχόπτωση σε απορροή. Τα μαθηματικά μοντέλα που είναι ενσωματωμένα στα TR-20 και TR-55 είναι τα εξής: (α) Απωλειών (loss models), (β) Μετατροπής απορροής (runoff transform models), (γ) Διόδευσης (routing models).

Για να εκτιμηθεί η απορροή μιας λεκάνης με το TR-20 ή TR-55 ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τα παρακάτω δεδομένα:

1. *Βροχόπτωση*. Εισαγωγή ενός νετογράμματος για τη λεκάνη.
2. *Φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και παράμετροι του μοντέλου απορροής*. Ορισμός λεκάνης απορροής, μέση βροχόπτωση στη λεκάνη καθώς και παράμετροι για το μοντέλο απωλειών και το μοντέλο μοναδιαίου υδρογραφήματος. Υπάρχουν ενσωματωμένες σχέσεις, για την εκτίμηση των παραμέτρων από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Αν οι σχέσεις αυτές πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, ο χρήστης πρέπει να εισάγει πληροφορίες για τα εδάφη των λεκανών, τις χρήσεις γης και τις επιφάνειες επίγειας ροής.
3. *Παράμετροι ποτάμιου μοντέλου*. Αν απαιτούνται τα μοντέλα διόδευσης από το TR-20 ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τις διάφορες παραμέτρους του μοντέλου, καθώς και αναλυτικά στοιχεία για τους αγωγούς.

Τα εξαγόμενα του μοντέλου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: (α) μια περίληψη των δεδομένων εισαγωγής του χρήστη, (β) μια αναφορά των παραμέτρων του μοντέλου που εκτιμήθηκαν, εάν έγινε χρήση των εμπειρικών σχέσεων SCS, (γ) μια αναφορά των υδρογραφήματων απορροής της λεκάνης και των αιχμών της πλημμύρας.

2.5.4 SSARR

Πρόκειται για ένα μοντέλο συνεχούς χρόνου με την έννοια ότι αναφέρεται στην παρακολούθηση πλημμυρικών φαινομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το SSARR είναι χωρικά κατανεμημένο μοντέλο, αφήνει το χρήστη να χωρίσει μια λεκάνη σε υπολεκάνες προκειμένου να αναπαρασταθούν καλύτερα τα διαφορετικά χαρακτηριστικά και οι διεργασίες από περιοχή σε περιοχή. Τα μαθηματικά μοντέλα που είναι ενσωματωμένα στο SSARR είναι τα ακόλουθα: (α) τήξης και συγκέντρωσης χιονιού (snowmelt, snow accumulation), (β) συσσώρευσης εδαφικής υγρασίας και εξατμισοδιαπνοής (soil moisture accumulation and evapotranspiration), (γ) Υπεδάφιας απορροής (baseflow), (δ) Επιφανειακής ροής (surface flow).

Να σημειωθεί ότι τόσο η υπεδάφια ροή όσο και η επιφανειακή ροή διοδεύονται με μοντέλα αποθήκευσης-διόδευσης. Έτσι, με πρόσθεση των αποτελεσμάτων των εξαγόμενων των δύο παραπάνω διοδεύσεων εκτιμάται η συνολική απορροή.

Τα δεδομένα εισόδου που χρειάζονται για το εν λόγω λογισμικό είναι σχεδόν ίδια με τα δεδομένα που απαιτούνται για τα προαναφερόμενα μοντέλα απορροής. Συγκεκριμένα, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει υδρομετεωρολογικά δεδομένα καθώς και διάφορες παραμέτρους απαραίτητες για την διόδευση.

Βασικό εξαγόμενο του μοντέλου είναι πινακοποιημένες χρονοσειρές απορροής στις διάφορες υπολεκάνες.

2.5.5 HYDRA

Το HYDRA είναι ένα λογισμικό που, μεταξύ των άλλων, χρησιμοποιείται και για τον σχεδιασμό αποχετευτικών δικτύων ομβρίων. Το HYDRA έχει τη δυνατότητα ανάλυσης της ροής σε συστήματα κλειστών και ανοιχτών αγωγών. Όταν τα συστήματα αυτά υπερπληρωθούν το HYDRA μπορεί να παρέχει λύσεις μείωσης των παροχών. Ακόμη, ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να θέσει διάφορα κριτήρια σχεδιασμού του δικτύου και το πρόγραμμα και, με βάση αυτά, να προτείνει διαμέτρους αγωγών, κλίσεις και υψόμετρα πυθμένα προκειμένου να ικανοποιηθούν τα κριτήρια αυτά. Το HYDRA αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πακέτο σχεδιασμού και ανάλυσης το οποίο εμπεριέχει μοντέλα επεξεργασίας λεκανών απορροής και μοντέλα επεξεργασίας ροών υπό πίεση.

Για σχεδιαστεί ή να ελεγχθεί ένα αποχετευτικό δίκτυο ομβρίων με το HYDRA απαιτείται:

1. Η δημιουργία ενός σχεδίου συνδεδεμένων κόμβων το οποίο θα αναπαριστά τα φρεάτια και τους αντίστοιχους αγωγούς
2. Η εισαγωγή γεωμετρικών και υδραυλικών στοιχείων των αγωγών όπως διαστάσεις αγωγών, σχήματα, κλίσεις, υψόμετρα πυθμένα συντελεστές τραχύτητας κλπ.
3. Ο καθορισμός μιας συνθήκης υπερχειλίσεως των αγωγών.

2.5.6 HEC-2

Το HEC-2 (HEC-RAS, στις νεότερες εκδόσεις του) επιλύει τις εξισώσεις της μονοδιάστατης, ομοιόμορφης και βαθμιαία μεταβαλλόμενης ροής για να προβλέψει το βάθος ροής σε έναν φυσικό ή έναν κατασκευασμένο ανοιχτό αγωγό. Ακόμη, έχει την δυνατότητα προσδιορισμού προφίλ του αγωγού σε συνθήκες υποκρίσιμης και υπερκρίσιμης ροής. Για κάθε αγωγό, για τον οποίο δίνεται πλήρης γεωμετρική περιγραφή των διατομών του, το HEC-2 μπορεί να υπολογίσει το μέσο βάθος και την ταχύτητα ροής στις διατομές αυτές, επιλύοντας την μονοδιάστατη εξίσωση ενέργειας. Για την υποκρίσιμη ροή, οι υπολογισμοί ξεκινάνε με μια γνωστή σχέση ανάμεσα στην παροχή και το ύψος της επιφάνειας του νερού προς την κατεύθυνση της ροής και εξελίσσονται αντίθετα με την κατεύθυνση της ροής (προς ανάντη). Έτσι, υπολογίζονται τα βάθη ροής σε κάθε διατομή. Για την υπερκρίσιμη ροή οι υπολογισμοί ξεκινάνε λαμβάνοντας ως γνωστό το βάθος ροής σε ένα ανάντη όριο και η διαδικασία εξελίσσεται προς τα κατάντη (κατεύθυνση ροής).

Το HEC-2 είναι ένα γενικευμένο πρόγραμμα και, έτσι, για τον προσδιορισμό των διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε ένα σύστημα ανοιχτών αγωγών, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τα ακόλουθα δεδομένα:

1. *Καθεστώς ροής.* Καθορισμός κρίσιμου βάθους ροής για κάθε εφαρμογή. Όταν η ροή είναι υποκρίσιμη τα δεδομένα εισάγονται αντίθετα με την κατεύθυνση της ροής, ενώ όταν είναι υπερκρίσιμη κατά την κατεύθυνση της ροής.

2. *Μια αρχική οριακή συνθήκη.* Το HEC-2 λύνει την μονοδιάστατη εξίσωση ενέργειας, οπότε είναι απαραίτητο το βάθος ροής στην αρχή. Αυτό, είτε εισάγεται κατευθείαν είτε εκτιμάται αυτόματα από το πρόγραμμα.
3. *Παροχή.* Η παροχή ομοιόμορφης ροής θα πρέπει να προσδιορίζεται για κάθε τμήμα του αγωγού.
4. *Παράμετροι απωλειών ενέργειας.* Προσδιορισμός του συντελεστή τραχύτητας του Manning σε κάθε διατομή αγωγού.
5. *Γεωμετρία της διατομής.* Για τις διάφορες διατομές των αγωγών του συστήματος, απαιτείται μια σειρά οριζοντιογραφικών και υψομετρικών σημείων. Κυρίως περιγράφονται οι χαρακτηριστικές διατομές του συστήματος, όπου σημειώνονται απότομες αλλαγές της κλίσης ή της τραχύτητας.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την εμφάνιση μιας ποικιλίας δεδομένων εξόδου. Όμως, το πιο βασικό εξαγόμενο είναι μια αναφορά με υπολογισμένα το βάθος ροής, την ταχύτητα και άλλα σχετικά χαρακτηριστικά που αφορούν τη ροή σε κάθε διατομή ανοιχτού αγωγού.

2.5.7 UNET

Το UNET προσομοιώνει την μονοδιάστατη, ανομοιόμορφη ροή σε έναν απλό ανοιχτό αγωγό, ή σε ένα δίκτυο ανοιχτών αγωγών. Αυτό επιτρέπει την ανάλυση των φαινομένων αλλαγής κατεύθυνσης του νερού, συμβολής αγωγών σε βροχωτά δίκτυα, ακόμα και σε δίκτυα στα οποία εμφανίζονται ανάστροφες ροές. Το UNET επιλύει μια γραμμικοποιημένη πεπερασμένη, διαφορική εξίσωση η οποία είναι προσέγγιση των μονοδιάστατων εξισώσεων ανομοιόμορφης ροής. Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται στο λογισμικό του UNET είναι αντίστοιχα με αυτά του HEC-2. Επιπρόσθετα δεδομένα εισόδου χρειάζονται για να περιγραφούν οι περιοχές όπου εμφανίζεται συμβολή των αγωγών.

Ως δεδομένα εξόδου παράγονται μεγάλες αναφορές με όλα τα υπολογισμένα στοιχεία. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται και εμφανίζονται στην κατάσταση αναφοράς βάθη ροής, ταχύτητες, και άλλα σχετικά χαρακτηριστικά ροής σε κάθε διατομή του δικτύου των αγωγών.

3 Το λογισμικό SWMM

3.1.1 Γενικά

Το SWMM (Storm Water Management Model) είναι ένα δυναμικό μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής, το οποίο, αρχικά, αναπτύχθηκε για τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, ή EPA) μεταξύ 1969 και 1971 και ήταν το πρώτο μοντέλο της κατηγορίας του για την ανάλυση αστικής απορροής. Συνεχώς αναβαθμίζεται, εξελίσσεται και συμπληρώνεται με νέες λειτουργίες και εφαρμογές ώστε σήμερα να θεωρείται ένα από τα πιο πλήρη και εύχρηστα μοντέλα που υπάρχουν για την προσομοίωση της ποσότητας και της ποιότητας της αστικής απορροής τόσο για μεμονωμένα βροχομετρικά γεγονότα όσο και για συνεχή προσομοίωση. Το λογισμικό λειτουργεί με διαίρεση της λεκάνης απορροής σε ένα σύνολο από υδραυλικά στοιχεία, δηλαδή από υπολεκάνες και αγωγούς. Κάθε τέτοιο στοιχείο χαρακτηρίζεται από διάφορες υδραυλικές ιδιότητες όπως το μέγεθος, η κλίση ο συντελεστής τραχύτητας κ.ά. Το τμήμα της διόδευσης του SWMM μεταφέρει την απορροή μέσω ενός συστήματος αγωγών, αντλιών και συσκευών αποθήκευσης και επεξεργασίας. Το SWMM, πέρα από την ποσότητα και την ποιότητα της απορροής που προκύπτει από κάθε βροχόπτωση, προσδιορίζει, μέσα από μια σειρά βημάτων, το ρυθμό, το βάθος ροής καθώς και την ποιότητα του νερού σε κάθε αγωγό κατά την διάρκεια μιας προσομοίωσης.

3.1.2 Δυνατότητες του μοντέλου

Το SWMM προσομοιώνει διάφορες υδρολογικές διεργασίες που παράγουν απορροή σε αστικές περιοχές. Τέτοιες διεργασίες είναι οι εξής:

1. Βροχόπτωση
2. Εξάτμιση επιφανειακού νερού
3. Συσσώρευση και τήξη χιονιού
4. Επιφανειακή αποθήκευση
5. Διήθηση σε ακόρεστα στρώματα εδάφους
6. Διείσδυση διηθούμενου νερού σε στρώματα υπογείων υδάτων
7. Επιφανειακή απορροή
8. Ταχεία υπεδάφια απορροή

Σε όλες αυτές τις διεργασίες μπορούμε να πετύχουμε χωρική μεταβλητότητα, χωρίζοντας την περιοχή μελέτης σε μικρότερες, ομογενείς λεκάνες κάθε μία από τις οποίες χωρίζεται στην αντίστοιχη διαπερατή και αδιαπερατή υπολεκάνη. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να διodeυθεί ανάμεσα στις υπολεκάνες, τις λεκάνες και των σημείων εισόδου ενός αποχετευτικού συστήματος. Εκτός από τις υδρολογικές διαδικασίες που προαναφέρθηκαν, το SWMM εμπεριέχει ένα σύνολο υδραυλικών δυνατοτήτων μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται για την διόδευση της απορροής και των εξωτερικών απορροών (εισροών) δια μέσου ενός αποχετευτικού δικτύου αγωγών, μονάδων αποθήκευσης, επεξεργασίας και εκτροπής. Οι δυνατότητες του SWMM είναι οι εξής:

1. Χειρισμός δικτύων απεριόριστου μεγέθους
2. Χρήση μεγάλης ποικιλίας προκαθορισμένων σχημάτων κλειστών και ανοιχτών αγωγών
3. Μοντελοποίηση ειδικών στοιχείων όπως μονάδες αποθήκευσης και επεξεργασίας, και διαχείρισης νερού, αντλίες, στόμια

4. Δυνατότητα εφαρμογής εξωτερικών εισροών λόγω επιφανειακής απορροής, ταχείας υπεδάφιας απορροή, διήθησης, λόγω βροχόπτωσης καθώς και άλλων εισροών οριζόμενων από τον χρήστη.
5. Διόδευση σε συνθήκες ομοιόμορφης και ανομοιόμορφης ροής. Χρήση είτε των εξισώσεων κινηματικού κύματος, είτε των εξισώσεων δυναμικού κύματος σε συνθήκες ανομοιόμορφης ροής.
6. Μοντελοποίηση ακόμα και πολύπλοκων φαινομένων ροής όπως ανάστροφη ροή, υπερχειλίση, στάσιμα νερά κ.ά.
7. Εφαρμογή δυναμικών κανόνων ελέγχου ορισμένων από τον χρήστη για την προσομοίωση της λειτουργίας των αντλιών, των διαφραγμάτων των στομιών κ.ά.

Πέρα από την μοντελοποίηση της παραγωγής και της μεταφοράς της απορροής, το SWMM έχει την δυνατότητα εκτίμησης ρυπαντικών φορτίων του νερού που απορρέει. Αν και δεν θα ασχοληθούμε με το κομμάτι αυτό, αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες διεργασίες του SWMM που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού:

1. Συσσώρευση ρύπων σε συνθήκες ξηρασίας για διάφορες χρήσεις γης
2. Απόπλυση ρύπων από συγκεκριμένες χρήσεις γης κατά την διάρκεια καταιγίδων
3. Μείωση της συσσώρευσης σε συνθήκες ξηρασίας λόγω του καθαρισμού των δρόμων
4. Μείωση του φορτίου απόπλυσης μέσω των Βέλτιστων Πρακτικών Διαχείρισης (BMP's)
5. Διόδευση των συστατικών ποιότητας του νερού μέσω του αποχετευτικού συστήματος
6. Μείωση της συγκέντρωσης των ρυπαντικών συστατικών μέσω των μονάδων αποθήκευσης και επεξεργασίας, ή από φυσικές διεργασίες σε αγωγούς και κανάλια

3.1.3 Τυπικές εφαρμογές του SWMM

1. Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση αποχετευτικού συστήματος για την αποφυγή πλημμυρικών γεγονότων
2. Χαρτογράφηση πλημμυρών που προέρχονται από συστήματα φυσικών καναλιών
3. Καθορισμός στρατηγικών ελέγχου για τη ελαχιστοποίηση των υπερχειλίσεων των υπονόμων
4. Αξιολόγηση της επίδρασης της εισροής και της διήθησης σε φαινόμενα υπερχειλίσεων υπονόμων
5. Προσομοίωση παραγωγής μη σημειακών πηγών ρυπαντικών φορτίων σε μελέτες κατανομής φορτίου αποβλήτων
6. Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των Βέλτιστων Πρακτικών Διαχείρισης (BMP'S) για την μείωση των φορτίων ρύπων από τα όμβρια ύδατα.

3.2 Αντίληψη μοντέλου

Το SWMM αντιλαμβάνεται το αποχετευτικό σύστημα ως μια σειρά από ροές νερού και άλλων υλικών που λαμβάνουν χώρα σε 4 μεγάλα τμήματα του περιβάλλοντος, που είναι τα εξής:

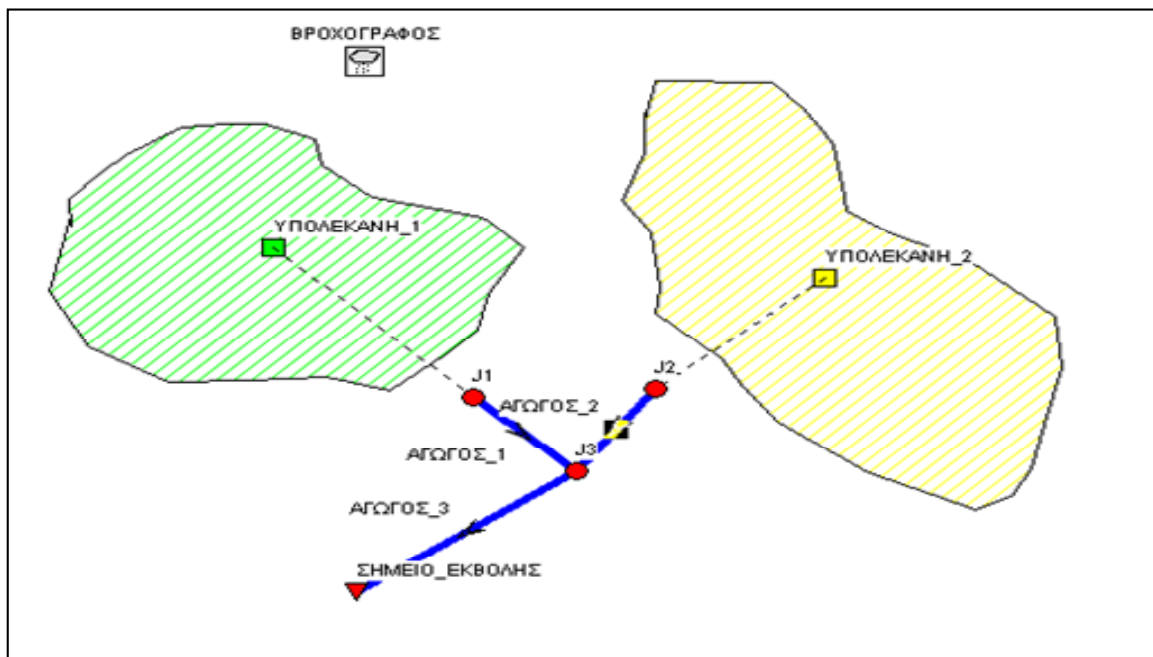
1. *Το τμήμα της ατμόσφαιρας (Atmosphere compartment):* Από το τμήμα αυτό πέφτει η βροχή και εναποτίθενται οι ρύποι στο τμήμα της επιφάνειας της γης. Το SWMM χρησιμοποιεί βροχογράφους για να αναπαραστήσει τις εισροές λόγω βροχόπτωσης στο σύστημα.
2. *Το τμήμα της επιφάνειας της γης (Land Surface compartment,):* Αναπαριστάται από μία ή περισσότερες λεκάνες. Το τμήμα αυτό δέχεται κατακρημνίσματα από το τμήμα της ατμόσφαιρας, είτε σε μορφή βροχής, είτε σε μορφή χιονιού. Επίσης, οδηγεί τις εκροές με

τη μορφή της διήθησης στο τμήμα υπογείων υδάτων, ενώ την επιφανειακή απορροή και τα ρυπαντικά φορτία στο τμήμα της μεταφοράς.

3. Το τμήμα των υπογείων υδάτων (*Groundwater compartment*): Δέχεται την διήθηση από το τμήμα της επιφάνειας της γης και μεταφέρει ένα μέρος του ως εισροή στο τμήμα της μεταφοράς (ταχεία υπεδάφια απορροή). Το τμήμα αυτό μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας αντικείμενα υδροφόρου ορίζοντα.
4. Το τμήμα της μεταφοράς (*Transport compartment*): Περιλαμβάνει ένα δίκτυο μεταφοράς (κανάλια, αγωγοί, αντλίες, ρυθμιστές) και μονάδες αποθήκευσης και επεξεργασίας που διαβιβάζουν το νερό σε διάφορα σημεία εκβολής ή σε μέρη επεξεργασίας. Στο τμήμα αυτό εισέρχονται ροές λόγω επιφανειακής απορροής, υπόγειας ροής αλλά και άλλες πρόσθετες εισροές οι οποίες καθορίζονται από τον χρήστη μέσω υδρογραφημάτων (Rossman, 2009)

3.3 Οπτικά αντικείμενα

Ένα αποχετευτικό σύστημα μπορεί να αναπαρασταθεί στο SWMM με ένα σύνολο οπτικών αντικειμένων. Τα οπτικά αυτά αντικείμενα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1 και περιγράφονται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.1: Αναπαράσταση ενός αποχετευτικού συστήματος ομβρίων στο λογισμικό του SWMM.

3.3.1 Βροχογράφοι (Rain Gages)

Οι βροχογράφοι παρέχουν βροχομετρικά δεδομένα σε μια ή περισσότερες υπολεκάνες μιας περιοχής μελέτης. Τα βροχομετρικά δεδομένα μπορούν είτε να εισάγονται απευθείας από τον χρήστη ως ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης, είτε να προέρχονται από κάποιο εξωτερικό αρχείο. Τα δεδομένα εισαγωγής στους βροχογράφους εμπεριέχουν:

1. Τον τύπο της βροχόπτωσης (ένταση, όγκος, ή ισοδύναμο ύψος)
2. Το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης
3. Την πηγή των βροχομετρικών δεδομένων (εισαγωγή χρονοσειρών βροχόπτωσης από τον χρήστη ή εξωτερικό αρχείο)
4. Το όνομα της πηγής των βροχομετρικών δεδομένων

3.3.2 Υπολεκάνες (Subcatchments)

Οι υπολεκάνες αποτελούν υδρολογικές μονάδες γης των οποίων η τοπογραφία και τα στοιχεία του αποχετευτικού συστήματος, κατευθύνουν την επιφανειακή απορροή σε ένα σημείο εξόδου. Ο χρήστης θα πρέπει να χωρίσει την περιοχή μελέτης στον κατάλληλο αριθμό υπολεκανών και, παράλληλα, να ορίσει το σημείο εξόδου της κάθε υπολεκάνης. Τα σημεία εκβολής μπορεί να είναι είτε κόμβοι του αποχετευτικού συστήματος, είτε άλλες υπολεκάνες. Οι υπολεκάνες μπορούν να χωριστούν σε διαπερατές και αδιαπέρατες υποπεριοχές. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να διεισδύσει στην άνω εδαφική ζώνη της διαπερατής περιοχής, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο και με την αδιαπέρατη περιοχή. Οι αδιαπέρατες περιοχές μπορούν να χωριστούν σε 2 επιμέρους τμήματα: το τμήμα που περιέχει την επιφανειακή συγκράτηση (συγκράτηση σε εδαφικές κοιλότητες, τάφρους κλπ, και το τμήμα που δεν την περιέχει. Η διήθηση της βροχής από μια διαπερατή περιοχή της λεκάνης στην άνω ακόρεστη ζώνη του εδάφους μπορεί να περιγραφεί με τρία διαφορετικά μοντέλα:

1. Τη διήθηση κατά Horton
2. Τη διήθηση κατά Green-Ampt
3. Τη διήθηση σύμφωνα με τον αριθμό καμπύλης CN της μεθόδου SCS

Οι κύριες παράμετροι που χαρακτηρίζουν την λεκάνη και θα πρέπει να εισαχθούν στο σύστημα είναι οι εξής:

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

3.3.3 Κόμβοι (Junction Nodes)

Οι κόμβοι αναπαριστούν ουσιαστικά τα φρεάτια ενός αποχετευτικού συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό του SWMM προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής εξωτερικών εισροών στους κόμβους. Το νερό που ξεχειλίζει σε έναν κόμβο, λόγω του ότι ο αγωγός με τον οποίο συνδέεται έχει υπερφορτιστεί, είτε χάνεται από το σύστημα, είτε αφήνεται να λιμνάσει πάνω από τον κόμβο. Εν συνεχεία αποχετεύεται πίσω σε αυτόν. Οι κύριες παράμετροι εισαγωγής για έναν κόμβο διασταύρωσης είναι οι εξής:

1. Το υψόμετρο του πυθμένα του αγωγού (Invert Elevation)
2. Ύψος μέχρι την επιφάνεια του εδάφους (Maximum Depth). Εάν το υψόμετρο αυτό δεν συμπληρωθεί τότε λαμβάνεται αυτόματα η απόσταση από το ύψος του πυθμένα του φρεατίου έως το υψόμετρο του υψηλότερου συνδεδεμένου αγωγού.
3. Έκταση λιμνάζουσας επιφάνειας όταν πλημμυρίζει (προαιρετικά).
4. Δεδομένα εξωτερικής εισροής στο φρεάτιο (προαιρετικά).

3.3.4 Κόμβοι εκβολής (Outfall Nodes)

Οι κόμβοι εκβολής αποτελούν τους τερματικούς κόμβους ενός αποχετευτικού συστήματος, Σε όλες τις μορφές διόδευσης, οι κόμβοι εκβολής συμπεριφέρονται ως απλοί κόμβοι (φρεάτια). Αξίζει, όμως, να σημειωθεί ότι μόνον ένας αγωγός μπορεί να συνδεθεί με τον

κόμβο εκβολής. Οι οριακές συνθήκες σε έναν κόμβο εκβολής, μπορούν να περιγραφούν με μια η περισσότερες από τις παρακάτω σχέσεις:

1. Το κρίσιμο ή το κανονικό βάθος ροής σε ένα συνδεδεμένο αγωγό
2. Το προκαθορισμένο ύψος νερού για ένα συγκεκριμένο τύπο σημείου εξόδου
3. Μια παλιρροιακή στάθμη (tidal stage), της οποίας περιγράφεται η μεταβολή κατά την διάρκεια της ημέρας
4. Μια προκαθορισμένη από τον χρήστη χρονοσειρά μεταξύ στάθμης και χρόνου

Οι κύριες παράμετροι εισαγωγής για έναν κόμβο εκβολής είναι οι εξής:

1. Το υψόμετρο πυθμένα
2. Τύπος των συνθηκών που προσδιορίζουν την ανώτατη στάθμη που μπορεί να φτάσει το νερό.
3. Παρουσία θυροφράγματος τύπου πτερυγίου (flap gate) για να εμποδίσει τα ενδεχόμενα backwater effects (επηρεασμό ροής εκ των κατάντη).

3.3.5 Αγωγοί (Conduits)

Οι αγωγοί είναι σωλήνες ή κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του νερού από τον ένα κόμβο στον άλλο. Οι περισσότεροι ανοιχτοί αγωγοί μπορούν να αναπαρασταθούν με ορθογώνιες, τραπεζοειδείς η ακανόνιστες διατομές, ορισμένες από τον χρήστη. Οι νέοι όμως αγωγοί αποχέτευσης σχεδιάζονται συνήθως ως κυκλικοί, ελλειπτικοί ή τοξωτοί..

Το SWMM χρησιμοποιεί την εξίσωση του Manning για να εκφράσει τη σχέση μεταξύ της παροχής, του εμβαδού της διατομής, της υδραυλικής ακτίνας και της κλίσης. Για τις αμερικανικές μονάδες η εξίσωση του Manning είναι:

$$Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (3.1)$$

Σημειώνεται 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 που χρησιμοποιείται. Για τον υπολογισμό των απωλειών τριβής (γραμμικών απωλειών) σε κυκλικούς αγωγούς υπό πίεση, το SWMM χρησιμοποιεί είτε την εξίσωση του Hazen-Williams, είτε αυτή του Darcy-Weisbach. Για τις αμερικανικές μονάδες η εξίσωση του Hazen-Williams είναι:

$$Q = 1.318C_0 AR^{0.63} S^{0.54} \quad (3.2)$$

Όπου C_0 είναι ο συντελεστής του Hazen-Williams ο οποίος εξαρτάται από την επιφανειακή τραχύτητα και παρέχεται ως μια παράμετρος των διατομών. Η εξίσωση του Darcy-Weisbach είναι:

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} AR^{1/2} S^{1/2} \quad (3.3)$$

Όπου f ο συντελεστής τριβής του Darcy-Weisbach.

Να σημειωθεί ότι στη σχέση των Hazen-Williams θεωρείται ένας συντελεστής C_0 για όλους τους κλάδους που αποτελούνται από το ίδιο υλικό, ο οποίος εξαρτάται από το υλικό του αγωγού, ενώ δε λαμβάνεται υπόψη το είδος ροής όπως συμβαίνει με τον συντελεστή τριβής f (Τσακίρης 2010). Συνεπώς, η προσέγγιση των Hazen-Williams απλοποιεί σημαντικά την επίλυση σε σχέση με την προσέγγιση των Darcy-Weisbach.

Οι κύριες παράμετροι εισαγωγής για τους αγωγούς είναι οι εξής:

1. Τα ονόματα των κόμβων εισόδου και εξόδου
2. Τα μετατοπισμένα ύψη εισόδου και εξόδου πάνω από τα αντίστοιχα υψόμετρα πυθμένα των φρεατίων όπου πρόκειται να τοποθετηθεί ο αγωγός (προαιρετικά)
3. Το μήκος του αγωγού
4. Ο συντελεστής τραχύτητας του Manning
5. Η γεωμετρία της διατομής
6. Οι απώλειες εισόδου-εξόδου (προαιρετικά)
7. Η ενδεχόμενη παρουσία θυρίδων αντεπιστροφής

3.4 Μη οπτικά αντικείμενα

3.4.1 Χρονοσειρές (Time Series)

Οι χρονοσειρές είναι αντικείμενα που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την μεταβολή των ιδιοτήτων κάποιων μεγεθών με τον χρόνο. Οι χρονοσειρές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τα ακόλουθα:

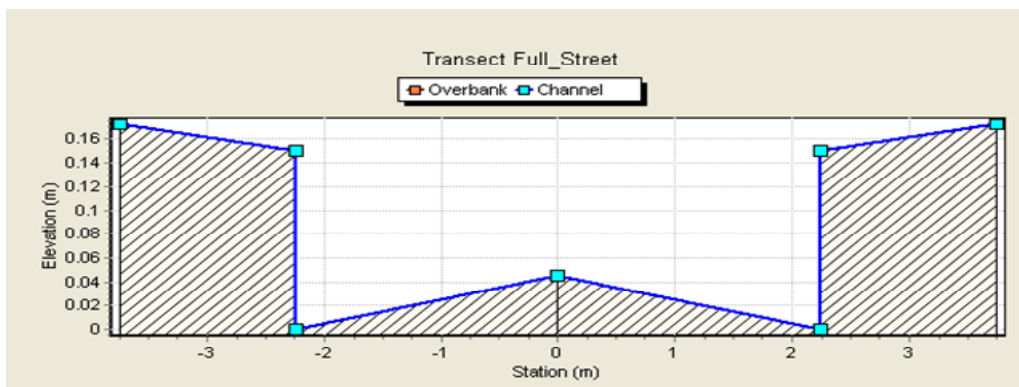
1. Δεδομένα θερμοκρασίας
2. Δεδομένα εξάτμισης
3. Βροχομετρικά δεδομένα
4. Δεδομένα στάθμης ύψους στα σημεία εκβολής
5. Υδρογραφήματα εξωτερικών εισροών σε κόμβους του συστήματος
6. Γραφήματα αναπαράστασης της ρύπανσης, από εξωτερικές εισροές σε κόμβους του συστήματος.

Ο χρόνος στα παραπάνω αντικείμενα εισάγεται είτε με τη μορφή ωρών από την αρχή της προσομοίωσης είτε με τη μορφή ημερομηνίας και ώρας της ημέρας.

Στην εφαρμογή μας, θα εισάγουμε στο σύστημα χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων που ουσιαστικά πρόκειται για τα νετογράμματα βροχόπτωσης.

3.4.2 Εγκάρσιες τομές (Transects)

Οι εγκάρσιες τομές αναφέρονται στα γεωμετρικά δεδομένα τα οποία περιγράφουν πως μεταβάλλεται το υψόμετρο πυθμένα με την οριζόντια απόσταση σε ένα φυσικό κανάλι, ή σε μια διατομή αγωγού ακανόνιστου σχήματος. Στο Σχήμα 3.2 αναπαρίσταται η εγκάρσια τομή ενός δρόμου, όπου το υψόμετρο μεταβάλλεται με την οριζόντια απόσταση όπως απεικονίζεται στο λογισμικό του SWMM.



Σχήμα 3.2 : Εγκάρσια τομή ενός δρόμου ως αγωγός ακανόνιστου σχήματος,(SWMM).

Σε κάθε τέτοια διατομή ακανόνιστου σχήματος θα πρέπει να δίνεται ένα και μοναδικό όνομα. Οι αγωγοί με τέτοιου είδους διατομή θα αναφέρονται με το όνομα της. Ένας ειδικός επεξεργαστής διατομών ακανόνιστου σχήματος είναι διαθέσιμος στο λογισμικό του SWMM για την επεξεργασία των δεδομένων των σταθμών θέσης και των αντίστοιχων υψομέτρων. Το πρόγραμμα μετατρέπει τα δεδομένα αυτά στα αντίστοιχα υδραυλικά μεγέθη (υδραυλική ακτίνα, πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια, εμβαδό κ.ά.).

3.5 Υπολογιστικές μέθοδοι

Το SWMM είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτού χρόνου. Εφαρμόζει τις αρχές τις διατήρησης της μάζας, της ενέργειας και της ορμής όπου είναι αυτό απαραίτητο. Παρακάτω θα περιγράψουμε συνοπτικά τις μεθόδους που χρησιμοποιεί το SWMM για να μοντελοποιήσει την ποσότητα της απορροής ομβρίων. Οι διεργασίες αυτές είναι οι εξής:

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

Στη συνέχεια, αναλύονται οι υπολογιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν από το SWMM στην εφαρμογή μας.

3.5.1 Επιφανειακή απορροή

Κάθε επιφάνεια λεκάνης αντιμετωπίζεται ως μια μη γραμμική δεξαμενή. Οι εισροές προέρχονται από την βροχόπτωση και από τις ανάντη λεκάνες. Υπάρχουν όμως και αρκετές εκροές όπως η διήθηση, η εξάτμιση και η επιφανειακή απορροή. 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 νερού από την φυτοκόμη. Το φαινόμενο της επιφανειακής απορροής εμφανίζεται όταν το βάθος νερού στη 'δεξαμενή' είναι μεγαλύτερο από την μέγιστη επιφανειακή αποθήκευση. Η τιμή του ύψους του νερού, κατά μήκος ολόκληρης της λεκάνης συνεχώς ανανεώνεται με το χρόνο, επιλύοντας αριθμητικά μια εξίσωση ισοζυγίου του νερού κατά μήκος της λεκάνης.

3.5.2 Διήθηση

Διήθηση είναι η διαδικασία κατά την οποία η βροχή διεισδύει από την επιφάνεια του εδάφους στο πάνω μέρος της ακόρεστης εδαφικής ζώνης των διαπερατών λεκανών. Το SWMM προσφέρει τρεις επιλογές για τη μοντελοποίηση της διήθησης:

1. *Εξίσωση του Horton*: Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε εμπειρικές παρατηρήσεις, σύμφωνα με τις οποίες η διήθηση μειώνεται εκθετικά από ένα αρχικό μέγιστο ρυθμό σε κάποιο ελάχιστο ρυθμό κατά την εξέλιξη ενός μεγάλης διάρκειας επεισοδίου βροχόπτωσης. Οι παράμετροι εισόδου που απαιτούνται για αυτή τη μέθοδο είναι ο μέγιστος και ο ελάχιστος ρυθμός διήθησης, ένας συντελεστής που περιγράφει πόσο γρήγορα μειώνεται ο ρυθμός κατά την εξέλιξη του φαινομένου και ο χρόνος για να μετατραπεί ένα πλήρως κορεσμένο έδαφος σε ολοκληρωτικά ξηρό.
2. *Εξίσωση του Green-Ampt*: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, υπάρχει ένα απότομο μέτωπο διύγρανσης στην εδαφική στήλη, το οποίο ξεχωρίζει το έδαφος που περιείχε κάποια αρχική υγρασία και βρίσκεται από κάτω, από το κορεσμένο έδαφος που βρίσκεται από

πάνω. Οι παράμετροι εισόδου είναι το αρχικό έλλειμμα υγρασίας του εδάφους, η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, και η κεφαλή απορρόφησης στο μέτωπο ύγρανσης.

3. *Μέθοδος αριθμού καμπύλης (SCS)*: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η ικανότητα συνολικής διήθησης του εδάφους μπορεί να προσδιορισθεί από τον αριθμό καμπύλης. Κατά την διάρκεια ενός επεισοδίου βροχόπτωσης, η ικανότητα αυτή μειώνεται συναρτήσει της συσσωρευτικής βροχόπτωσης και της απομένουσας χωρητικότητας. Απαιτείται η καταχώρηση του αριθμού καμπύλης CN.

3.5.3 Διόδευση ομοιόμορφης ροής

Η διόδευση ομοιόμορφης ροής αναπαριστά τον απλούστερο τύπο διόδευσης, θεωρώντας ότι για κάθε υπολογιστικό χρονικό βήμα, η ροή είναι ομοιόμορφη και σταθερή. Αυτή η παραδοχή, μετατοπίζει τα υδρογραφήματα εισροής από το ανάντη τέλος του αγωγού στο κατάντη τέλος του, χωρίς καθυστέρηση ή αλλαγή στο σχήμα. Η εξίσωση κανονικής ροής συσχετίζει τον ρυθμό ροής με την διατομή ροής. Όμως, αυτός ο τύπος διόδευσης δεν εξηγεί την αποθήκευση στα κανάλια, τις απώλειες εισόδου/εξόδου, την αναστροφή της ροής ή τη ροή υπό πίεση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δενδριτικά δίκτυα μεταφοράς, των οποίων ο κάθε κόμβος έχει έναν και μοναδικό σύνδεσμο εκροής. Για αυτόν τον τύπο διόδευσης δεν παίζει ρόλο το χρονικό βήμα της διόδευσης.

3.5.4 Διόδευση κινηματικού κύματος

Αυτή η μέθοδος διόδευσης επιλύει την εξίσωση συνέχειας με μια απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης ορμής σε κάθε αγωγό. Η τελευταία απαιτεί η κλίση της επιφάνειας του νερού (κλίση ενέργειας) να ισούται με την κλίση του αγωγού. Η μέγιστη ροή που μπορεί να μεταφερθεί μέσω ενός αγωγού είναι η τιμή της πλήρους ομοιόμορφης ροής. Οποιαδήποτε ροή μεγαλύτερη από αυτή, που εισέρχεται στον κόμβο εισόδου είτε χάνεται από το σύστημα, είτε μπορεί να 'λιμνάσει' πάνω από τον κόμβο εισόδου και να επανεισαχθεί στον αγωγό, εφόσον βέβαια το επιτρέπει η χωρητικότητα του. Η διόδευση κινηματικού κύματος, επιτρέπει στη ροή να μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά κατά μήκος ενός αγωγού. Αυτό όμως μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση καθυστερημένων υδρογραφημάτων εκροής καθώς η εισροή διοδεύεται μέσω του καναλιού. Η μορφή διόδευσης δεν εξηγεί την αποθήκευση στα κανάλια, τις απώλειες εισόδου/εξόδου, την αναστροφή της ροής ή τη ροή υπό πίεση και περιορίζεται σε δενδριτικά δίκτυα μεταφοράς. Επίσης, μέσω της διόδευσης κινηματικού κύματος μπορεί να επιτευχθεί αριθμητική σταθερότητα με χρονικά βήματα της τάξης των 5 έως 15 λεπτών. Εάν τα παραπάνω προβλήματα της μεθόδου δεν αναμένεται να είναι σημαντικά, τότε η διόδευση κινηματικού κύματος μπορεί να είναι ακριβής και αποτελεσματική, ειδικά σε μεγάλης διάρκειας προσομοιώσεις

3.5.5 Διόδευση δυναμικού κύματος

Η διόδευση δυναμικού κύματος επιλύει τις μονοδιάστατες εξισώσεις ροής του Saint Venant και παράγει, θεωρητικά, τα πιο ακριβή αποτελέσματα. Αυτές οι εξισώσεις είναι: εξισώσεις συνέχειας και ορμής στους αγωγούς και από μια εξίσωση συνέχειας του όγκου στους κόμβους. Με αυτή τη μορφή διόδευσης, είναι δυνατό να αναπαρασταθεί η ροή υπό πίεση όταν ένας κλειστός αγωγός γεμίζει, όπως όταν οι ροές ξεπερνούν την τιμή της πλήρως κανονικής ροής. Το φαινόμενο της πλημμύρας εμφανίζεται όταν το βάθος του νερού σε έναν κόμβο ξεπερνάει το μέγιστο δυνατό βάθος, και τότε, η περίσσεια ροή, είτε χάνεται από το σύστημα, είτε μπορεί να 'λιμνάσει' πάνω από τον κόμβο εισόδου και να επανεισαχθεί στο αποχετευτικό σύστημα. Η διόδευση δυναμικού κύματος λαμβάνει υπόψη την αποθήκευση στα κανάλια, τα φαινόμενα της επίδρασης εκ των κατάντη (backwater effects), τις απώλειες εισόδου/εξόδου, την αναστροφή της ροής, ή τη ροή υπό πίεση. Επειδή η μέθοδος συνδυάζει

την επίλυση και για τα επίπεδα νερού στους κόμβους και για τη ροή στους αγωγούς, μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε δίκτυο, ακόμα και σε αυτά που περιέχουν πολλαπλές κατάντη εκτροπές και βρόχους. Πρόκειται για μια μέθοδο που εφαρμόζεται σε συστήματα τα οποία υποβάλλονται σε φαινόμενα επίδρασης εξαιτίας των κατάντη περιορισμών ροής καθώς και σε ρυθμίσεις ροής μέσω θυρίδων και στομιών. Τα χρονικά βήματα κατά τη διόδευση δυναμικού κύματος είναι πολύ μικρότερα από αυτά της διόδευσης κινηματικού κύματος και είναι της τάξης του ενός λεπτού ή και λιγότερο.

3.5.6 Επιφανειακή Λίμναση (Surface Ponding)

Κανονικά, στη διόδευση πλημμύρας όταν σε ένα κόμβο η ροή ξεπερνάει τη χωρητικότητα που έχει το σύστημα για να τη μεταφέρει κατάντη, η περίσσεια του όγκου υπερχειλίζει και χάνεται. Αντί για αυτό, υπάρχει μια εναλλακτική δυνατότητα, η περίσσεια του όγκου μπορεί να αποθηκευτεί πάνω από έναν κόμβο και επανεισαχθεί στη συνέχεια στο σύστημα, αν το επιτρέπει φυσικά η χωρητικότητα του. Σε συνθήκες ομοιόμορφης ροής και ροής κινηματικού κύματος, το 'λίμναζον' νερό αποθηκεύεται απλά ως περίσσεια όγκου νερού. Όμως, κατά την διόδευση δυναμικού κύματος, η οποία επηρεάζεται από τα βάθη νερού στους κόμβους, γίνεται η υπόθεση ότι η περίσσεια όγκου λιμνάζει πάνω από έναν κόμβο με σταθερή επιφάνεια χώρου. Το μέγεθος αυτής της επιφάνειας χώρου είναι μια παράμετρος στον κάθε κόμβο. Εναλλακτικά, σε συστήματα ανοιχτών αγωγών, η επιφανειακή υπερχειλίση μπορεί να περιέχει υπερχειλίσεις δρόμων στις γέφυρες ή σε διασταυρώσεις οχετών, καθώς και σε άλλους πρόσθετους επιφανειακούς χώρους αποθήκευσης επιφανειακών νερών. Σε συστήματα κλειστών αγωγών, η επιφανειακή υπερχειλίση μεταφέρεται μέσω δρόμων, διόδων και άλλων επιφανειακών διαδρομών στο επόμενο διαθέσιμο φρεάτιο ομβρίων ή ανοιχτό αγωγό.

3.6 Επιλογές προσομοίωσης

Το SWMM διαθέτει έναν αριθμό επιλογών οι οποίες καθορίζουν πως θα εξελιχθεί η προσομοίωση του αποχετευτικού συστήματος ομβρίων. Παρακάτω, περιγράφονται αυτές οι επιλογές.

3.6.1 Γενικές επιλογές (General Options)

Στο σημείο αυτό ο χρήστης καλείται να καθορίσει τις παρακάτω γενικές επιλογές:

Μοντέλα επεξεργασίας (Process Models): Υπάρχουν οι εξής επιλογές: Rainfall/Runoff, Flow Routing, Snow Melt, Groundwater, Water Quality. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν τα δύο πρώτα μοντέλα, δηλαδή το μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής και το μοντέλο διόδευσης πλημμύρας.

Μοντέλο διήθησης (Infiltration Model): Αυτή η επιλογή καθορίζει τον τρόπο μοντελοποίησης, της διεύδυσης της βροχόπτωσης στην άνω εδαφική ζώνη των λεκανών. Υπάρχουν τρεις επιλογές μεθόδου εκτίμησης της διήθησης: Horton, Green-Ampt και SCS Curve Number. Τα παραπάνω μοντέλα διήθησης περιγράφηκαν στο εδάφιο 3.5.2. Θα πρέπει υποχρεωτικά να επιλεγεί ένα από τα τρία μοντέλα.

Μοντέλο διόδευσης (Routing Model): Αυτή η επιλογή καθορίζει με ποιο τρόπο θα γίνει η διόδευση της πλημμύρας στο αποχετευτικό σύστημα ομβρίων. Το SWMM παρέχει τα εξής μοντέλα διόδευσης: Steady Flow, Kinematic Wave, Dynamic Wave. Τα μοντέλα αυτά περιγράφονται αντίστοιχα στα εδάφια 3.5.3, 3.5.4, 3.5.5. Θα πρέπει υποχρεωτικά να επιλεγεί ένα από τα τρία μοντέλα.

Λίμνασμα (Allow Ponding): Όταν το πεδίο αυτό είναι επιλεγμένο, το πρόγραμμα επιτρέπει στο νερό να υπερχειλίσει πάνω από τους κόμβους και, στην συνέχεια, να επανεισαχθεί εάν το επιτρέπουν βέβαια οι συνθήκες.

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

Ελάχιστη κλίση των αγωγών (Minimum Conduit Slope): Καθορισμός της μικρότερης δυνατής κλίσης που επιτρέπεται για έναν αγωγό (%). Αν το πεδίο αυτό δε συμπληρωθεί, για τον υπολογισμό της κλίσης των αγωγών θεωρείται αυτόματα από το πρόγραμμα ως ελάχιστη υψομετρική διαφορά δύο διαδοχικών κόμβων τα 0.00035 m.

3.6.2 Επιλογές χρόνων έναρξης και λήξης της πλημμύρας (Date Options)

Στο σημείο αυτό ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει τα πεδία που αφορούν τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης της προσομοίωσης του πλημμυρικού φαινομένου. Τα πεδία αυτά είναι τα παρακάτω:

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

Έναρξη αναφοράς αποτελεσμάτων (Start Reporting Results): Καθορισμός έναρξης αναφοράς αποτελεσμάτων, συμπλήρωση πεδίων ημερομηνίας και ώρας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει την χρονική στιγμή έναρξης της προσομοίωσης ή μετά από αυτήν.

Λήξη προσομοίωσης (End Analysis): Καθορισμός λήξης προσομοίωσης, συμπλήρωση πεδίων ημερομηνίας και ώρας.

Έναρξη καθαρισμού των δρόμων (Start Sweeping On): Καθορισμός της ημέρας που ξεκινάνε οι λειτουργίες καθαρισμού των δρόμων. Προεπιλεγμένη τιμή είναι η 1η Ιανουαρίου.

Λήξη καθαρισμού των δρόμων (End Sweeping On): Καθορισμός της ημέρας που λήγουν οι λειτουργίες καθαρισμού των δρόμων. Προεπιλεγμένη τιμή είναι η 31η Δεκεμβρίου.

Προηγούμενες ξηρές μέρες πριν την έναρξη της βροχόπτωσης (Antecedent Dry Days): Εισαγωγή των ημερών με μηδενική βροχόπτωση πριν την έναρξη της προσομοίωσης.

3.6.3 Επιλογές χρονικού βήματος (Time Step Options)

Ο χρήστης καλείται να καθορίσει τα χρονικά βήματα, υπολογισμού της απορροής και της διόδευσης καθώς και το χρονικό βήμα εμφάνισης των αποτελεσμάτων. Τα χρονικά βήματα εισάγονται σε μέρες και στην μορφή «ώρες: λεπτά :δευτερόλεπτα», εκτός από το χρονικό βήμα διόδευσης που εισάγεται σε δευτερόλεπτα. Οι επιλογές που αφορούν τα παραπάνω χρονικά βήματα περιγράφονται παρακάτω:

Χρονικό βήμα αναφοράς αποτελεσμάτων (Reporting Time Step): Χρονικό βήμα εμφάνισης των υπολογισμένων αποτελεσμάτων.

Χρονικό βήμα σε υγρή περίοδο μελέτης (Runoff - Wet Weather Time Step): Χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς της απορροής λεκανών σε περιόδους βροχόπτωσης ή σε περιόδους κατά τις οποίες λιμνάζον νερό παραμένει στην επιφάνεια

Χρονικό βήμα σε ξηρή περίοδο μελέτης (Runoff - Dry Weather Time Step): Χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς απορροής λεκανών, όταν δεν υπάρχει καθόλου βροχόπτωση. Θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το χρονικό βήμα σε υγρή περίοδο μελέτης

Χρονικό βήμα διόδευσης (Routing Time Step): Χρονικό βήμα της διόδευσης της πλημμύρας το οποίο εισάγεται σε δευτερόλεπτα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος διόδευσης δυναμικού κύματος απαιτεί πολύ μικρότερο χρονικό βήμα από τις υπόλοιπες μεθόδους λόγω της πολυπλοκότητας των υπολογισμών.

3.6.4 Επιλογές για την διόδευση δυναμικού κύματος

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ρυθμίσει διάφορες παραμέτρους που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί της διόδευσης πλημμύρας δυναμικού κύματος. Ο καθορισμός των τιμών αυτών δε επηρεάζει τις άλλες μεθόδους διόδευσης. Οι επιλογές της δυναμικής μεθόδου είναι οι ακόλουθες:

Αδρανειακοί όροι εξίσωσης Saint-Venant (Inertial Terms): Καθορίζει τι ρόλο θα παίζουν οι αδρανειακοί όροι (τοπική και μεταθετική επιτάχυνση) στις εξισώσεις ορμής Saint-Venant. Τρεις δυνατές επιλογές υπάρχουν: Keep, Dampen και Ignore. Με την πρώτη επιλογή, διατηρούνται οι αδρανειακοί όροι κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες. Με την δεύτερη επιλογή, οι όροι αυτοί μειώνονται όσο η ροή τείνει να γίνει κρίσιμη ενώ αγνοούνται τελείως όταν η ροή είναι υπερκρίσιμη. Με την τρίτη επιλογή αγνοούνται οι όροι αυτοί παράγοντας ουσιαστικά μια λύση κύματος διάχυσης.

Ορισμός υπερκρίσιμης ροής (Define Supercritical Flow By): Καθορίζεται με ποιο κριτήριο η ροή θα θεωρείται υπερκρίσιμη. Τα κριτήρια αυτά είναι: η κλίση της επιφάνειας του νερού, ο αριθμός Froude, ή και τα δύο σε συνδυασμό. Για καλύτερη προσομοίωση του συστήματος προτείνεται η εφαρμογή και των δύο κριτηρίων σε συνδυασμό.

Εξίσωση υπολογισμού απωλειών τριβής (Force Main Equation): Ο χρήστης καλείται να επιλέξει ποια εξίσωση θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να υπολογιστούν οι απώλειες τριβής στους υπό πίεση κυκλικούς αγωγούς. Υπάρχουν δύο επιλογές: η εξίσωση του Hazen-Williams ή, η εξίσωση του Darcy-Weisbach.

Χρήση μεταβλητού χρονικού βήματος: Ο χρήστης έχει την δυνατότητα χρήσης ενός μεταβλητού χρονικού βήματος διόδευσης και έναν παράγοντα προσαρμογής (%) για την εφαρμογή αυτού του χρονικού βήματος. Ένας τυπικός παράγοντας προσαρμογής θα μπορούσε να είναι 75%, έτσι ώστε να παρέχει ένα περιθώριο συντηρητισμού. Το υπολογισμένο μεταβλητό χρονικό βήμα δεν θα είναι μικρότερο από 0.5 s ούτε μεγαλύτερο από το χρονικό βήμα της διόδευσης δυναμικού κύματος που καθορίστηκε προηγουμένως.

4 Η περιοχή μελέτης

4.1 Γενική περιγραφή

Ανάτη της λεωφόρου Κηφισίας εκτείνονται οι λεκάνες του Ψυχικού και της Φιλοθέης σε έκταση 235.34 εκταρίων όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.1. Από την έκταση αυτή, το 72% (169.335 εκτάρια) καταλήγει στο ρέμα Ποδονίφτη, ενώ το υπόλοιπο 28% (66.012 εκτάρια) καταλήγει στο σκουφοειδή αγωγό. Ο βόρειος αποδέκτης των λεκανών, το ρέμα Ποδονίφτη, είναι χείμαρρος που πηγάζει από τις νοτιοδυτικές πηγές του Πεντελικού Όρους, διέρχεται από Φιλοθέη-Χαλάνδρι και έχει τελικό αποδέκτη τον Κηφισό. Οι περισσότερες λεκάνες της ευρύτερης περιοχής Ψυχικού-Φιλοθέης, καταλήγουν στο παραπάνω ρέμα. Οι υπόλοιπες αποχετεύονται στον υφιστάμενο σκουφοειδή αγωγό που εκβάλλει με την σειρά του στον αγωγό της οδού Σεβαστουπόλεως και έχει ως τελικό αποδέκτη τον Ιλισό. Ο σκουφοειδής αγωγός κατέρχεται τις οδούς Διαμαντίδου από το ύψος της οδού Αγ. Δημητρίου, 25ης Μαρτίου και Μαραθωνοδρόμων προς Κατεχάκη.



Σχήμα 4.1 Δορυφορική άποψη της περιοχής μελέτης. Πηγή Google Earth

4.2 Η κατάσταση της περιοχής μελέτης προ της αστικοποίησης

4.2.1 Περιγραφή του προβλήματος

Στο σημείο αυτό, θα προσομοιάσουμε το σύστημα σε συνθήκες προ της αστικοποίησης, δηλαδή θα μελετήσουμε την περιοχή μας ως μια υδρολογική λεκάνη χωρίς υδραυλικές παρεμβάσεις. Σκοπός μας είναι να δούμε την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης κάτω από συνθετικές βροχές σχεδιασμού για διάφορες περιόδους επαναφοράς και για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης.

4.2.2 Αναπαράσταση της μη αστικής λεκάνης στο λογισμικό του SWMM

Η περιοχή μελέτης μας θα αναπαρασταθεί ως μια ενιαία υδρολογική λεκάνη, ενιαία με ένα και μοναδικό σημείο εκβολής, το ρέμα Ποδονίφτη. Στο λογισμικό SWMM είναι απαραίτητη η εισαγωγή κάποιων υδρολογικών παραμέτρων που αποτελούν ουσιαστικά την ταυτότητα της λεκάνης. Οι παράμετροι αυτές είναι οι εξής:

- *Εμβαδόν λεκάνης απορροής (Area)*

Πρόκειται για το εμβαδό της υδρολογικής λεκάνης όπως αυτό προκύπτει από τους διαθέσιμους τοπογραφικούς χάρτες και εισάγεται σε εκτάρια. Στην περίπτωση μας το εμβαδό αυτό είναι 169.34 εκτάρια.

- *Πλάτος (Width)*

Πρόκειται για το πλάτος επίγειας ροής το οποίο προκύπτει ύστερα από διαίρεση του εμβαδού της λεκάνης απορροής με το μήκος το επίγειας ροής. Το μήκος της επίγειας ροής σε μια μη αστική λεκάνη δε υπερβαίνει τα 500 ft ή περίπου 150 m. Εμείς θεωρήσαμε μήκος επίγειας ροής 150 m, επομένως το αντίστοιχο πλάτος που είναι και η παράμετρος εισαγωγής στο λογισμικό προκύπτει ως 11289 m.

- *Κλίση (Slope)*

Πρόκειται για την κλίση της μη αστικής λεκάνης πάνω στην οποία θα πραγματοποιηθεί η επίγεια ροή. Η κλίση της μη αστικής λεκάνης θεωρήθηκε ενιαία και ίση με 2%.

- *Αδιαπερατότητα (Imperviousness)*

Η αδιαπερατότητα της μη αστικής λεκάνης ελήφθη 5%.

- *Συντελεστής τραχύτητας (Roughness Coefficient)*

Αντικατοπτρίζει την αντίσταση που συναντάει η επίγεια ροή όπως απορρέει στην επιφάνεια της λεκάνης. Το λογισμικό SWMM χρησιμοποιεί την εξίσωση Manning για να υπολογίσει τον ρυθμό επίγειας ροής και, επομένως, ο συντελεστής αυτός ισούται με τον συντελεστή τραχύτητας του Manning n . Η λεκάνη χωρίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα σε κάποια διαπερατά και κάποια αδιαπερατά τμήματα, πράγμα που προσεγγίζει καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες. Έτσι, απαιτούνται ξεχωριστές τιμές του συντελεστή τραχύτητας για τα διαπερατά και τα αδιαπερατά τμήματά της. Ο συντελεστής n των διαπερατών τμημάτων (N-perv) είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερος από τον συντελεστή n των αδιαπερατών τμημάτων (N-imperv). Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού SWMM (ASCE, 1992) οι παραπάνω συντελεστές ελήφθησαν 0.24 και 0.015 αντίστοιχα.

- *Επιφανειακή συγκράτηση (Depression Storage)*

Αντιπροσωπεύει κάποιες αρχικές απώλειες νερού, λόγω συγκράτησης από την φυτοκόμη, ή ενδεχομένως, από επιφανειακά λιμνάσματα και εκφράζεται σε mm. Πάντα πριν ξεκινήσει το

φαινόμενο της επιφανειακής απορροής εμφανίζονται τέτοιου είδους απώλειες. Χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικές τιμές για τα διαπερατά και τα αδιαπέρατα τμήματα της λεκάνης (συντελεστές Dstore-Perv και Dstore-Imperv αντίστοιχα). Τυπικές τιμές κυμαίνονται από 1.26 mm (για τις αδιαπέρατες περιοχές) μέχρι 7.62 mm (για τις διαπερατές). Στο παράδειγμά μας, οι παράμετροι Dstore-Imperv και Dstore-Perv ελήφθησαν 1.52 mm και 7.62 mm (McCuen, 1996).

- *Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση (Percent of Impervious Area without Depression Storage)*

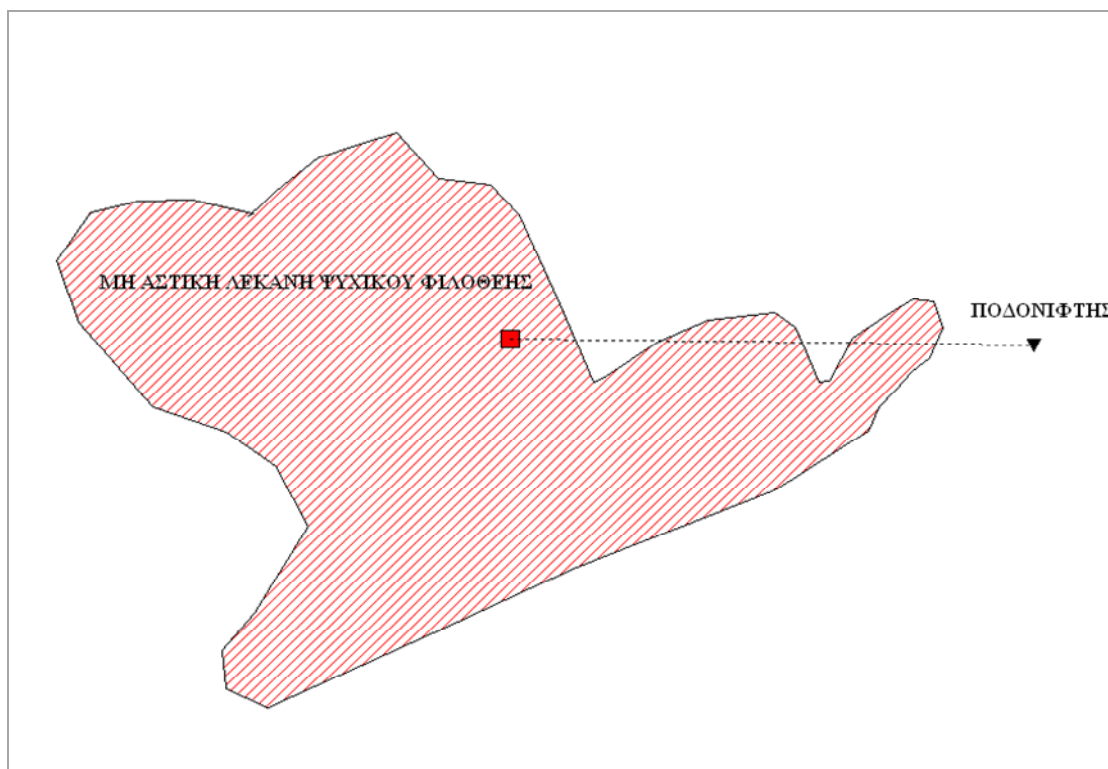
Αυτή η παράμετρος αφορά αδιαπέρατα τμήματα της λεκάνης στα οποία δεν πραγματοποιείται επιφανειακή συγκράτηση. Συνήθως, σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού SWMM, η αδιαπέρατη περιοχή χωρίς επιφανειακή συγκράτηση, καλύπτει το 25% της λεκάνης.

- *Μοντέλο διήθησης (Infiltration model)*

Στο πρόγραμμα SWMM υπάρχουν τρεις μέθοδοι υπολογισμού των απωλειών διήθησης στις διαπερατές περιοχές: η μέθοδος Horton, Green-Ampt και η μέθοδος SCS. Εδώ χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SCS και ο αριθμός καμπύλης προσδιορίστηκε με βάση την θεωρία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3.5.2. Για την εύρεση του υδρολογικού τύπου εδάφους και των χρήσεων γης στη περιοχή, μια διαδικασία απαραίτητη για τον προσδιορισμό του αριθμού καμπύλης CN, ανατρέξαμε στον Λυμπερόπουλο (2008). Θεωρήσαμε ότι η λεκάνη μας προ της αστικοποίησης θα εμφανίζει τα ίδια εδαφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά με αυτά της Πάρνηθας, πριν τις πυρκαγιές. Τελικά, ελήφθη CN=64.

- *Εισαγωγή βροχόπτωσης (Precipitation Input)*

Η βροχόπτωση σχεδιασμού αποτελεί την πιο καθοριστική μεταβλητή για την προσομοίωση, βροχόπτωσης-απορροής. Ο όγκος της απορροής των ομβρίων εξαρτάται από το μέγεθος της βροχόπτωσης και από την χωροχρονική κατανομή της. Κάθε λεκάνη στο λογισμικό του SWMM συνδέεται με έναν βροχογράφο (Rain Gage) που περιγράφει τη μορφή και την πηγή των βροχομετρικών δεδομένων που θα εφαρμοστούν στη λεκάνη. Η υδρολογική συμπεριφορά της μη αστικής λεκάνης, μελετήθηκε για βροχές περιόδων επαναφοράς 5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 ετών και για διάρκειες 1, 3, 6 και 12 ωρών. Τα νετογράμματα που συντέθηκαν για τις παραπάνω περιόδους επαναφοράς και διάρκειες και εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την προσομοίωση του φαινομένου και θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο κεφάλαιο 5. Με βάση όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, δημιουργήθηκε η μη αστική λεκάνη. Μια γραφική αναπαράσταση της λεκάνης όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό του SWMM φαίνεται στο Σχήμα 4.2



Σχήμα 4.2 Σχηματική αναπαράσταση της μη αστικής λεκάνης Ψυχικού-Φιλοθέης με το μοντέλο του SWMM.

4.2.3 Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης μη αστικής λεκάνης

Πριν την εκτέλεση της προσομοίωσης του συστήματος είναι απαραίτητος ο καθορισμός κάποιων παραμέτρων (simulation options). Ως μοντέλο διήθησης (Infiltration model) επιλέχθηκε η μέθοδος SCS. Καθοριστική παράμετρος για την προσομοίωση είναι το χρονικό βήμα εμφάνισης των αποτελεσμάτων (Reporting Time Step) το οποίο επιλέχθηκε 10 min προκειμένου να συνάδει με το χρονικό βήμα των υετογραμμάτων. Η επιλογή για το τέλος της ανάλυσης (End Analysis) αφορά τη συνολική διάρκεια της βροχόπτωσης. Για υετογράμματα 6 h και 12 h επιλέξαμε ως τέλος της ανάλυσης τις 6 h και τις 12 h, αφού αυτό το χρονικό διάστημα θεωρείται ικανοποιητικό για την ολοκληρωμένη παρακολούθηση των παραπάνω πλημμυρικών γεγονότων. Ωστόσο για υετογράμματα 1 h και 3 h, θεωρήσαμε ότι δεν ήταν η ικανοποιητική η εισαγωγή 1 h και 3 h ως χρόνων τέλους της ανάλυσης, αφού δεν θα μπορούσαμε να παρακολουθήσουμε πλήρως τα φαινόμενα και ενδεχομένως να μην εμφανιζόταν και η αιχμή της πλημμύρας στα αντίστοιχα διαστήματα. Έτσι, για τα δύο παραπάνω πλημμυρικά γεγονότα, επιλέξαμε ως τέλος της ανάλυσης τις 6 h.

4.3 Η κατάσταση με την πρόσφατη αναβάθμιση του συστήματος αποχέτευσης ομβρίων

4.3.1 Περιγραφή του προβλήματος

Στο σημείο αυτό, θα προσομοιάσουμε το σύστημα σε αστικές συνθήκες δηλαδή όπως είναι σήμερα. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι μέρος του αποχετευτικού δικτύου της περιοχής παρέμεινε ως έχει, σε κάποια τμήματα αντικαταστάθηκε, ενώ παράλληλα επεκτάθηκε με τον σχεδιασμό νέων αγωγών. Το σύστημα μοντελοποιήθηκε εφαρμόζοντας όλες τις υδραυλικές παρεμβάσεις της μελέτης. Γενικά, το δίκτυο σχεδιάστηκε με την ορθολογική μέθοδο, ενώ η εκτίμηση της βροχόπτωσης προήλθε από όμβρια καμπύλη μετεωρολογικού σταθμού στην

περιοχή της Ελευσίνας (Υδωρ – Νοταράς, 2001). Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρακολουθήσουμε την υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος τόσο με την εφαρμογή της όμβριας της μελέτης όσο και με την εφαρμογή της (2.11) που προέρχεται από το μετεωρολογικό σταθμό Ζωγράφου. Τα νετογράμματα βροχόπτωσης που θα εφαρμοσθούν αναφέρονται σε περιόδους επαναφοράς από 5 έως 25 έτη, αφού για αυτά τα διαστήματα είναι εφικτή η πραγματοποίηση διόδευσης. Για βροχές μεγαλύτερων T , είναι δυνατός ο υπολογισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών των αγωγών, αλλά όχι η πραγματοποίηση διόδευσης. Η τελευταία θα μελετηθεί στα πλαίσια ενός πολυπλοκότερου δικτύου αποχέτευσης, του δυαδικού δικτύου αποχέτευσης.

4.3.2 Βασικές παραδοχές της μελέτης

Στις περισσότερες μελέτες, είτε λόγω απλούστευσης των εργασιών επίλυσης, είτε λόγω έλλειψης πρωτογενών δεδομένων, γίνονται κάποιες παραδοχές, που βοηθούν στην προσπέλαση των δυσκολιών που προκύπτουν στην πορεία. Αυτές οι παραδοχές εφαρμόζονται με γνώμονα την καλύτερη δυνατή προσέγγιση της πραγματικότητας, χωρίς να επιφέρουν αλλοιώσεις και μεταβολές. Η μοντελοποίηση του συστήματος αποχέτευσης ομβρίων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή του Ψυχικού-Φιλοθέης, έγινε με σκοπό την παρακολούθηση γεγονότων βροχόπτωσης, για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς και για διάφορες διάρκειες ώστε να προβλεφθούν τα ενδεχόμενα πλημμυρικά γεγονότα. Η προσομοίωση του συστήματος έγινε βάσει των εξής παραδοχών:

1. Το αποχετευτικό δίκτυο ομβρίων υδάτων σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM με βάση την μελέτη που εκπονήθηκε από το γραφείο Υδωρ-Νοταράς Υδραυλικές Μελέτες ΕΠΕ (2001) η οποία αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς $T=25$ έτη. Η ένταση της βροχόπτωσης για την συγκεκριμένη περίοδο προσδιορίστηκε βάσει της εξής σχέσεως:

$$i = 77.0 \times 60 / (t + 26.4) \quad (4.1)$$

η οποία χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της λεωφόρου Σταυρού- Ελευσίνας). Ο χρόνος t εισάγεται σε min.

2. Πέρα από την εφαρμογή της παραπάνω όμβριας καμπύλης, το σύστημα προσομοιώθηκε και με βάση την ενιαία σχέση ομβρίων καμπυλών για τον νοτιοανατολικό μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (σχέση 2.11). Δημιουργήθηκαν νετογράμματα βροχόπτωσης για $T=5, 10, 25, 50, 100, 1000$ και 10000 και για διάρκειες βροχόπτωσης $t = 1, 3, 6, 12$ h με χρονικό βήμα 10 min.
3. Για τις περιόδους επαναφοράς άνω του 50, όπως ήταν αναμενόμενο, οι περισσότεροι αγωγοί υπερπληρώθηκαν με αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμύρας. Προκειμένου να διodeύσουμε τα νερά της πλημμύρας δημιουργήσαμε ένα δυαδικό σύστημα, που συνίσταται από ένα υπόγειο και ένα επιφανειακό αποχετευτικό δίκτυο τα οποία βρίσκονται σε παραλληλία μεταξύ τους. Το υπόγειο σύστημα είναι το αρχικό σύστημα που σχεδιάσαμε σύμφωνα με την μελέτη για να ανταποκριθεί σε γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς έως και 25 ετών. Το επιφανειακό αποχετευτικό δίκτυο είναι το δίκτυο των δρόμων το οποίο θεωρήσαμε ως ένα σύστημα ανοιχτών αγωγών με διατομή αυτή των δρόμων.
4. Οι διατομές των δρόμων που συνθέτουν το επιφανειακό αποχετευτικό σύστημα, εισήχθησαν με βάση τους χάρτες της ΕΥΔΑΠ κλίμακας 1:500 καθώς και με την βοήθεια του χαρτογραφικού λογισμικού Bing maps. Η δυνατότητα bird's eye view του παραπάνω χαρτογραφικού λογισμικού παρέχει λεπτομερέστερες λήψεις από διάφορες οπτικές γωνίες. Επιτεύχθηκε λοιπόν η εστίαση σε επίπεδο πεζοδρομίου και η εισαγωγή στο λογισμικό του SWMM των απαραίτητων στοιχείων (πλάτος δρόμων και πλάτος πεζοδρομίων). Δημιουργήθηκαν διατομές δρόμων πλάτους 4.5 m 6.5 m 7.5 m και 9 m. Οι

επικλίσεις ελήφθησαν 2% για δρόμους πλάτους έως και 7.5 m και 2.5% για δρόμους πλάτους 9 m. Η εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων ελήφθη για όλους τους δρόμους 1.5% ενώ βρέθηκαν πεζοδρόμια πλάτους 1.50 m, 2.40 και 4.20 m.

5. Για την μοντελοποίηση του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν πινακίδες της ΕΥΔΑΠ κλίμακας 1:500 σε συνδυασμό με τις κατά μήκος τομές του βασικού συλλεκτήρα της Λ. Μαραθωνοδρόμων κλίμακας 1:1000, τις κατά μήκος τομές των αγωγών συμβολής. Τα διαγράμματα 1:500 συντάχθηκαν από το μελετητικό γραφείο, δια αντιγραφής και συμπλήρωσης των πινακίδων της ΕΥΔΑΠ.
6. Η μελέτη που χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να προσομοιώσουμε το πλημμυρικό φαινόμενο αφορά τις λεκάνες που αποχετεύονται στον βασικό συλλεκτήρα της λεωφόρου Μαραθωνοδρόμων και τελικά καταλήγουν στον Ποδονίφτη. Ωστόσο το 30% των λεκανών της υπό μελέτη περιοχής, αποχετεύεται στον σκουφοειδή. Τόσο για τον σκουφοειδή αγωγό, όσο και για τις οδούς που εκβάλλουν σε αυτόν δεν είχαμε επαρκή στοιχεία, αφού αυτά υπάρχουν σε άλλη παλαιότερη μελέτη. Όμως, για την ορθή λειτουργία του συστήματος, ήταν απαραίτητη η εισαγωγή και των δύο σημείων εκβολής. Έτσι, με βάση την υπάρχουσα υψομετρική πληροφορία γειτονικών οδών και με διατήρηση ενιαίας κλίσης κατά μήκος τους, διαστασιολογήσαμε τους αγωγούς που εκβάλλουν στον σκουφοειδή και το τμήμα του ίδιου του σκουφοειδούς.
7. Ο συντελεστής απορροής για την δομημένη περιοχή Ψυχικού-Φιλοθέης ελήφθη $C = 0.60$ ενώ για τις εκτός σχεδίου λεκάνες ελήφθη $C = 0.40$.
8. Η επάρκεια των υφιστάμενων αγωγών ομβρίων στις περιπτώσεις διατήρησης τους ελήφθη με συντελεστή τραχύτητας $n = 0.016$ και με πλήρη πλήρωση.
9. Οι προτεινόμενοι αγωγοί ομβρίων υπολογίστηκαν με συντελεστή τραχύτητας $n = 0.016$ και με πλήρωση 70% πλην του βασικού συλλεκτήρα της Μαραθωνοδρόμων που φτάνει μέχρι και 80%. Οι δύο παραπάνω προϋποθέσεις ισχύουν για την εφαρμογή της όμβριας καμπύλης της μελέτης. Για τις όμβριες καμπύλες που παρήχθησαν σύμφωνα με την σχέση (2.11) για διάφορες περιόδους επαναφοράς T και διάρκειας t η επάρκεια των υφιστάμενων αγωγών ελήφθη με πλήρη πλήρωση.
10. Το μελετητικό γραφείο σχεδίασε το αποχετευτικό σύστημα ομβρίων με βάση την ορθολογική μέθοδο και έκανε διάφορες παραδοχές για τους χρόνους συρροής. Με το λογισμικό SWMM δεν χρειάστηκαν αυτές οι παραδοχές για την προσομοίωση του φαινομένου, αφού η υπολογιστική μέθοδος δεν είναι η ορθολογική.
11. Οι λεκάνες απορροής σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης «ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ» κλίμακας 1:5000 και την «ΓΕΝΙΚΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ–ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ–ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ-ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ» κλίμακας 1:5000.

4.3.3 Πορεία εργασιών

Για την προσομοίωση του συστήματος αποχέτευσης ομβρίων ύστερα από αναβάθμιση του συστήματος αποχέτευσης με το μοντέλο SWMM απαιτούνται κάποιες εργασίες. Αρχικά απαιτείται η εισαγωγή των διαφόρων υδρολογικών στοιχείων του προβλήματος και εν συνεχεία το πέρασμα των υδραυλικών στοιχείων. Συνοπτικά, η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Σχεδιασμός των λεκανών απορροής
- Συμπλήρωση των πεδίων που χαρακτηρίζουν μορφολογικά κάθε λεκάνη
- Εισαγωγή όλων των φρεατίων (κόμβων) του συστήματος και καταχώρηση της ονομασίας τους και των υψομέτρων του πυθμένα τους.

- Εισαγωγή ενός ή περισσότερων κόμβων εκβολής και καταχώρηση των υψομέτρων του πυθμένα τους.
- Σύνδεση των φρεατίων του συστήματος με αγωγούς
- Συμπλήρωση των πεδίων που χαρακτηρίζουν κάθε αγωγό
- Καταχώρηση του σημείου εξόδου κάθε λεκάνης
- Δημιουργία των διαφόρων νετογραμμμάτων, για περιόδους επαναφοράς για $T=5, 10, 25, 50, 100, 1000$ και 10000 και για διάρκειες βροχόπτωσης $d=1, 3, 6, 12$ h με χρονικό βήμα 10 min.
- Εισαγωγή ενός βροχογράφου από τον οποίο θα φορτώνεται κάθε φορά το αντίστοιχο νετόγραμμα
- Καθορισμός του μοντέλου διήθησης
- Καθορισμός της μεθόδου προσομοίωσης
- Καθορισμός διάρκειας βροχόπτωσης
- Τρέξιμο της εφαρμογής και προβολή αποτελεσμάτων

4.3.4 Καταχώρηση χαρακτηριστικών παραμέτρων αστικών λεκανών στο SWMM.

Τα μοναδικά στοιχεία που γνωρίζουμε από τη μελέτη για τις αστικές λεκάνες απορροής, είναι τα εμβαδά τους και ο συντελεστής απορροής C . Ο συντελεστής απορροής C , αποτελεί δείγμα του βαθμού αστικοποίησης μιας λεκάνης, αφού όσο μικρότερη είναι η τιμή του, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος της άμεσης απορροής και τόσο μικρότερες αναμένονται και οι αιχμές τις πλημμύρας. Σχεδόν σε όλη την περιοχή μελέτης, εφαρμόζεται συντελεστής $C = 0.60$ με εξαίρεση κάποια τμήματα των λεκανών I και II όπου εφαρμόζεται συντελεστής $C = 0.40$, αφού σε αυτά υπάρχει αραιή δόμηση. Ωστόσο, ο συντελεστής C αποτελεί δεδομένου εξόδου στο λογισμικό του SWMM και όχι δεδομένου εισόδου. Ζητούμενα είναι επομένως οι παράμετροι που αναφέρθηκαν και στο εδάφιο 4.2.2 για την περιγραφή της μη αστικής λεκάνης. Οι παράμετροι για τις αστικές πλέον λεκάνες περιγράφονται παρακάτω.

- *Εμβαδόν λεκανών απορροής (Area)*

Τα εμβαδά των λεκανών συμπληρώθηκαν σύμφωνα με τους πίνακες 4.1, 4.2, 4.3 που παρατίθενται παρακάτω.

- *Πλάτος (Width)*

Το πλάτος επίγειας ροής προκύπτει όπως αναφέραμε ύστερα από διαίρεση του εμβαδού της λεκάνης απορροής με το μήκος της επίγειας ροής. Το μήκος διαδρομής του νερού σε μια τυπική αστική λεκάνη, είναι το μήκος από το τέρμα ενός τυπικού οικοδομικού τετραγώνου έως τον άξονα της πλησιέστερης οδού δηλαδή περίπου 40 με 50 m. Εμείς θεωρήσαμε για όλες τις λεκάνες σταθερό μήκος επίγειας ροής 40 m και, επομένως, το πλάτος προέκυψε για κάθε λεκάνη σύμφωνα με τη σχέση: $(\text{πλάτος επίγειας ροής}) = (\text{εμβαδόν λεκάνης απορροής})/40$.

- *Κλίση (Slope)*

Η κλίση της αστικής λεκάνης θεωρήθηκε ενιαία και ίση με 2% .

- *Συντελεστής τραχύτητας (Roughness Coefficient)*

Όπως προαναφέραμε η λεκάνη χωρίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα σε κάποια διαπερατά και κάποια αδιαπερατά τμήματα. Ο συντελεστής n των διαπερατών τμημάτων (N -per n) ελήφθη 0.24 και ο συντελεστής n των αδιαπερατών τμημάτων (N -imper n) ελήφθη 0.015.

- *Επιφανειακή συγκράτηση (Depression Storage)*

Όπως προαναφέραμε οι συντελεστές $D_{store-Per}$ και $D_{store-Imper}$ αντιπροσωπεύουν την επιφανειακή συγκράτηση. Στο παράδειγμα μας, οι παράμετροι $D_{store-Per}$ και $D_{store-Imper}$ ελήφθησαν 7.61 mm και 1.52 mm αντίστοιχα.

- *Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση (Percent of Impervious Area without Depression Storage)*

Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση ελήφθη 25%.

- *Μοντέλο διήθησης (Infiltration Model)*

Ως μοντέλο διήθησης χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο SCS. Με βάση την υγρασία του εδάφους, κατατάξαμε το έδαφος στη κατηγορία I, όπου το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών είναι κάτω από 13 mm για την χειμερινή περίοδο και κάτω από 35 mm για την περίοδο βλάστησης, δεδομένου ότι στην Αττική δεν παρατηρούνται συχνές βροχοπτώσεις. Ως κατηγορία εδάφους από υδρολογική άποψη θεωρήσαμε ότι η περιοχή μελέτης μας ανήκει στην κατηγορία C (εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα). Τέλος ως χρήση γης στην περιοχή πήραμε αστικές συνθήκες με μέτρια κάλυψη πρασίνου 50-75% της διαπερατής περιοχής. Τελικά προέκυψε $CN = 63$.

- *Μοντέλο διόδευσης (Routing Model)*

Ως μοντέλο διόδευσης χρησιμοποιήσαμε την πιο ακριβή από τις τρεις μεθόδους, την δυναμική μέθοδο, η οποία λαμβάνει υπόψη όλα τα πολύπλοκα φαινόμενα της μη μόνιμης, ανομοιόμορφης ροής.

4.3.5 Υδρολογικές λεκάνες περιοχής μελέτης

Ο σχεδιασμός του υδροκρίτη των αστικών λεκανών απορροής έγινε σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης κλίμακας 1:5000 καθώς και με βάση την αντίστοιχη περιγραφή τους στο τεύχος της μελέτης. Ωστόσο, σύμφωνα με την μελέτη, κάθε λεκάνη μπορεί να εκβάλλει σε περισσότερους από έναν αγωγούς οδών που εμπεριέχονται σε αυτήν, ανάλογα με το ποσοστό συμβολής κάθε οδού στο βασικό συλλεκτήρα. Στο λογισμικό του SWMM όμως δεν ήταν δυνατόν να περαστούν τα ποσοστά αυτά, αφού κάθε λεκάνη έχει ένα μοναδικό σημείο εξόδου. Προκειμένου λοιπόν να αναπαρασταθεί ορθά το σύστημα, έγινε χωρισμός των παραπάνω λεκανών σε υπολεκάνες με έκταση ίση με το ποσοστό έκτασης που εκβάλλει στον κάθε αγωγό πολλαπλασιασμένη με την αντίστοιχη συνολική έκταση της λεκάνης. Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται όλες οι λεκάνες που συνθέτουν την περιοχή μελέτης, το αντίστοιχο ποσοστό που εκβάλλει σε κάθε αγωγό και τελικά η έκταση που εκβάλλει στον κάθε αγωγό.

Πίνακας 4.1 : Λεκάνες απορροής και ποσοστά εκβολής στους αγωγούς των περιεχόμενων οδών

Λεκάνη απορροής	Συνολική έκταση λεκάνης (ha)	Αγωγός οδού	Ποσοστό έκτασης (%)	Έκταση που εκβάλλει στον αγωγό (ha)
I	64.90	25ης Μαρτίου	0.10	6.490
		Οίτης	0.17	11.033
		Ταυγέτου	0.62	40.238
		Ελίκωνος	0.07	4.543
		Αγ. Δημητρίου	0.04	2.596
II	26.20	25ης Μαρτίου	0.10	2.620
		Οίτης	0.09	2.358
		Ταυγέτου	0.56	14.672
		Ελίκωνος	0.17	4.454
		Αγ. Δημητρίου	0.08	2.096
III	7.80	Ταυγέτου	0.38	2.964
		Ελίκωνος	0.31	2.418
		Αγ. Δημητρίου	0.31	2.418
IV	29.00	Αγ. Δημητρίου	0.74	21.460
		Κοκκώνη	0.14	4.060
		Χάουλαντ	0.12	3.480
V	11.65	Αγ. Δημητρίου	1.00	11.65
VI	1.75	Κοκκώνη	0.55	0.963
		Χάουλαντ	0.45	0.788
VII	1.20	Κοκκώνη	1.00	1.200
VIII	23.15	25ης Μαρτίου	0.25	5.788
		Οίτης	0.25	5.788
		Ταυγέτου	0.50	11.575
IX	2.85	Ταυγέτου	1.00	2.850
X	2.07	Οίτης	1.00	2.070
XI	2.85	Ταυγέτου	1.00	2.850
XII	8.73	Ελίκωνος	1.00	8.730
XIII	3.05	Αγ. Δημητρίου	1.00	3.050
XIV	25.38	Χάουλαντ	1.00	25.380
XV	4.35	28ης Οκτωβρίου	1.00	4.350
		Γιασεμιών	0.27	1.580
XVI	5.85	Υακίνθων	0.73	4.271
		Βύρωνος (δυτικά της Β. Παύλου)	0.09	0.665
XVII	7.39	Μαζαράκη (ανατολικά της Β. Παύλου)	0.10	0.739
		Λ. Δημοκρατίας	0.11	0.813
		Βύρωνος (ανατολικά της Β. Παύλου)	0.17	1.256
		Β. Παύλου	0.53	3.917

Επιπλέον, υπάρχουν και κάποιες πρόσθετες λεκάνες που αποχετεύονται απευθείας στον βασικό συλλεκτήρα. Οι λεκάνες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 :Λεκάνες απορροής και ποσοστά εκβολής στους αγωγούς των περιεχόμενων οδών

Λεκάνη απορροής	Έκταση λεκάνης (ha)
Οίτης	0.66
Ταυγέτου	0.78
Ελίκωνος	0.40
Αγ. Δημητρίου	1.74
Σ. Δέλτα	2.11

Το 28% της έκτασης της περιοχής μελέτης αποχετεύεται στο σκουφοειδή αγωγό, όπως προαναφέραμε. Στο τεύχος της μελέτης αναφέρεται ότι στο σκουφοειδή αγωγό εισρέουν παροχές από τις λεκάνες I, II και VIII. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι:

Λεκάνη I	Αναλαμβανόμενη παροχή 0.00 m ³ /s
Λεκάνη II	Αναλαμβανόμενη παροχή 2.00 m ³ /s
Λεκάνη VIII	Αναλαμβανόμενη παροχή 2.52 m ³ /s
25ης Μαρτίου	Αναλαμβανόμενη παροχή 0.42m ³ /s

Οι ανωτέρω εισροές ανάλογα με το ποσοστό έκτασης επί της συνολικής λεκάνης του Πίνακα 4.1 αντιστοιχούν σε :

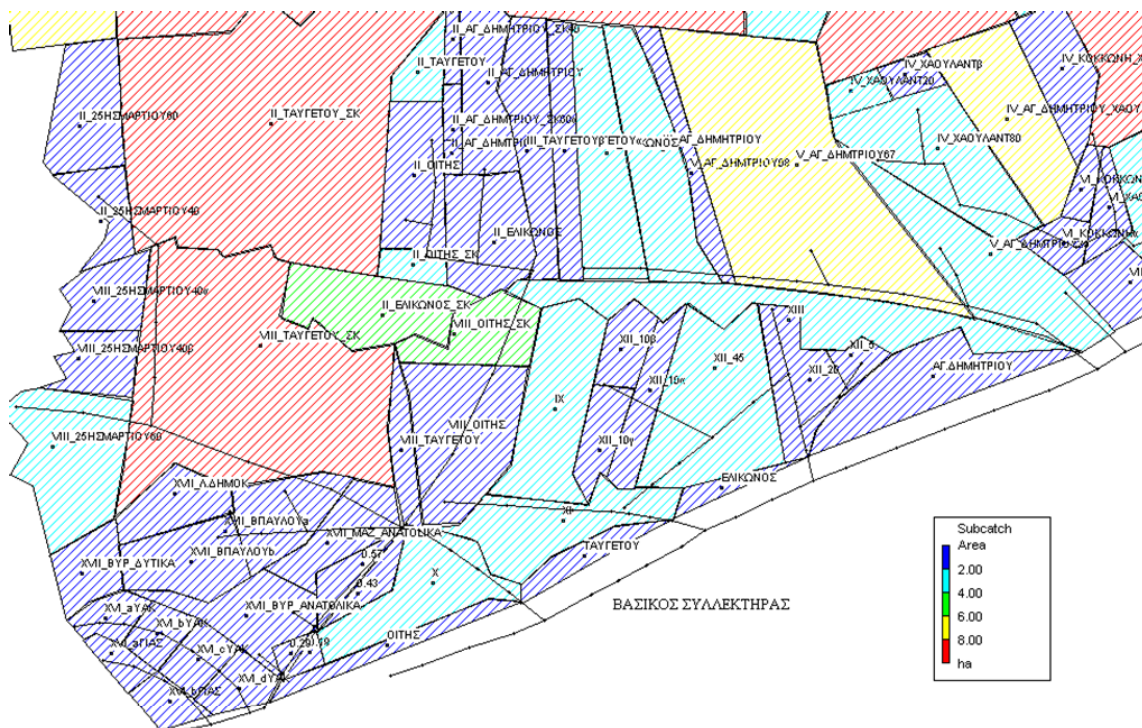
25ης Μαρτίου	$0.10 \times 2.00 + 0.25 \times 2.52 + 0.42 = 1.25 \text{ m}^3/\text{s}$
Οίτης	$0.09 \times 2.00 + 0.25 \times 2.52 = 0.81 \text{ m}^3/\text{s}$
Ταυγέτου	$0.56 \times 2.00 + 0.50 \times 2.52 = 2.38 \text{ m}^3/\text{s}$
Ελίκωνος	$0.17 \times 2.00 = 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$
Αγ. Δημητρίου	$0.08 \times 2.00 = 0.16 \text{ m}^3/\text{s}$

Προφανώς, οι παραπάνω παροχές υπολογίστηκαν σε άλλη παλαιότερη μελέτη και στη μελέτη της Ύδωρ – Νοταράς (2001) και λαμβάνονται ως δεδομένες. Το λογισμικό του SWMM όμως δεν μπορεί να δεχτεί παροχές ως δεδομένο, αφού η λειτουργία του είναι να υπολογίζει παροχές με βάση τα εμβαδά των αντίστοιχων υδρολογικών λεκανών. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, χρησιμοποιήσαμε τα παραπάνω στοιχεία σε συνδυασμό με το ότι το 28% των λεκανών της περιοχής μελέτης αποχετεύεται στον σκουφοειδή και το 72% στον Ποδονίφτη και πραγματοποιήσαμε έναν επιμερισμό των λεκανών I, II, VIII, έτσι ώστε τμήματα αυτών να αποχετεύονται στον σκουφοειδή και τα υπόλοιπα στον Ποδονίφτη. Επιπλέον, στην μελέτη αναφέρεται ότι 4 λεκάνες, εκβάλλουν απευθείας στο σκουφοειδή αγωγό. Πρόκειται για τριγωνικού σχήματος λεκάνες με εμβαδά 0.29, 0.19, 0.57 και 0.43. Ακόμη, σύμφωνα με τη μελέτη, οι λεκάνες XVI και XVII καταλήγουν απευθείας στον σκουφοειδή αγωγό. Στον Πίνακα 4.3, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι λεκάνες που αποχετεύονται στον σκουφοειδή αγωγό.

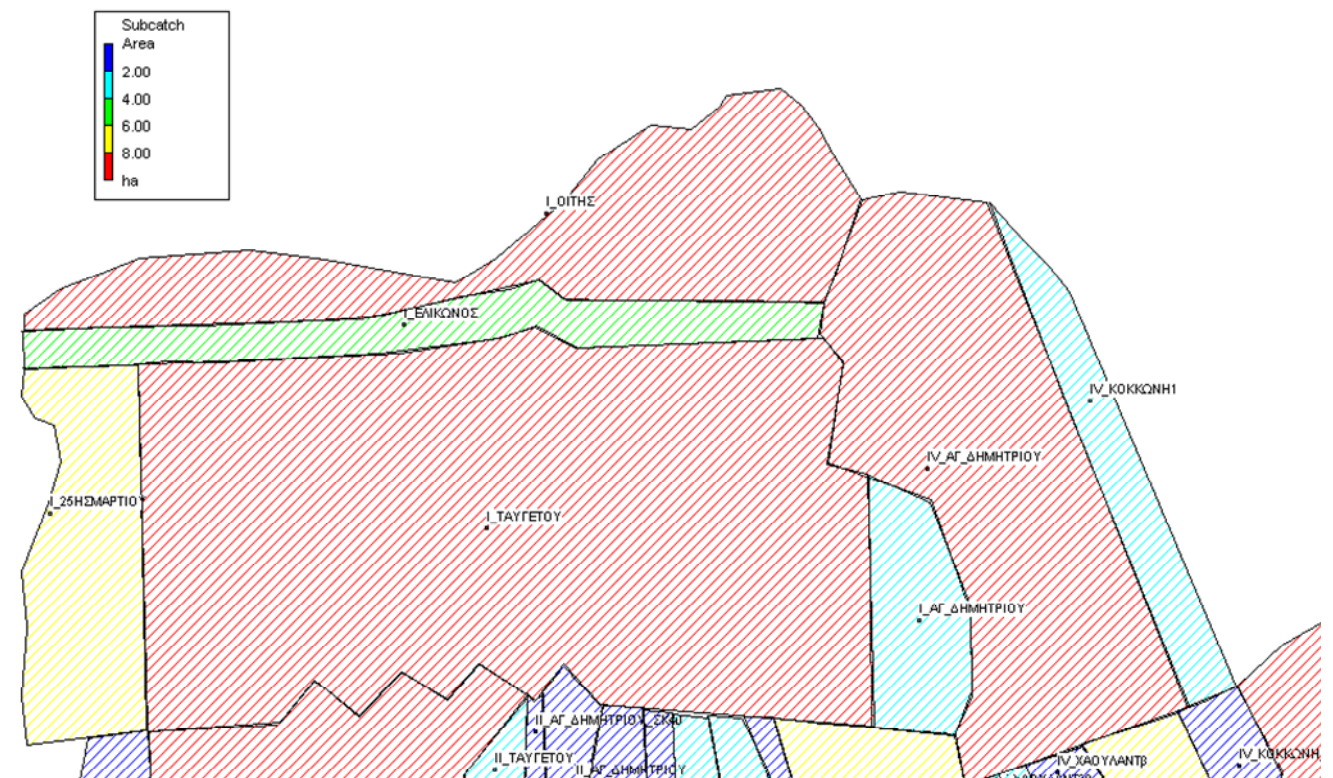
Πίνακας 4.3 Λεκάνες που αποχετεύονται στον σκουφοειδή αγωγό

Λεκάνη Απορροής	Έκταση λεκάνης (ha)
I 25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	6.490
II 25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	2.620
VIII 25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	5.787
0.19	0.190
0.29	0.290
0.43	0.430
0.57	0.570
II ΟΙΤΗΣ ΣΚ	2.122
II ΤΑΥΓΕΤΟΥ ΣΚ	12.471
II ΕΛΙΚΩΝΟΣ ΣΚ	4.009
II ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΣΚ	1.970
VIII ΟΙΤΗΣ ΣΚ	5.290
VIII ΤΑΥΓΕΤΟΥ ΣΚ	10.533
XVI	5.850
XVII	7.390
ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ	66.012

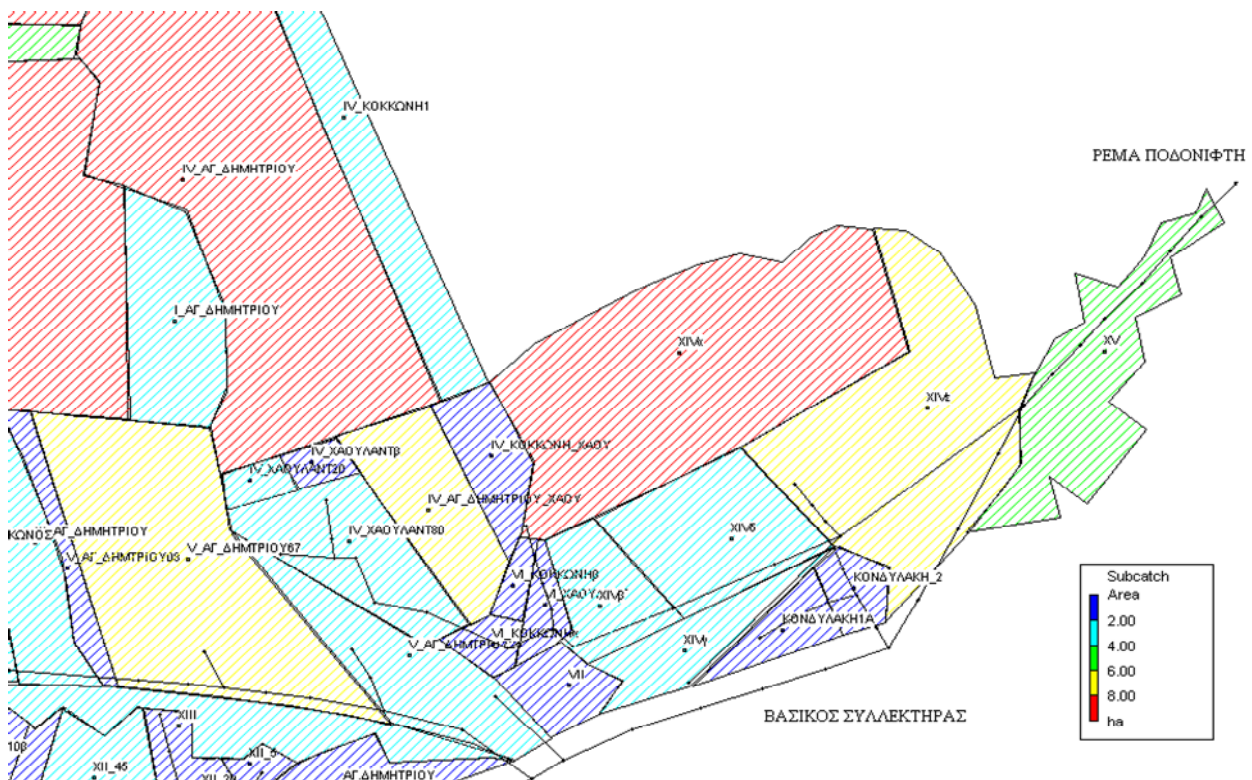
Τελικά, όλες οι λεκάνες, όπως μοντελοποιήθηκαν στο λογισμικό SWMM παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν. Στα σχήματα αυτά, οι λεκάνες εμφανίζονται με διαφορετικούς χρωματισμούς ανάλογα με την έκτασή τους.



Σχήμα 4.3: Μοντελοποιημένες λεκάνες στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 4.4: Μοντελοποιημένες λεκάνες στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



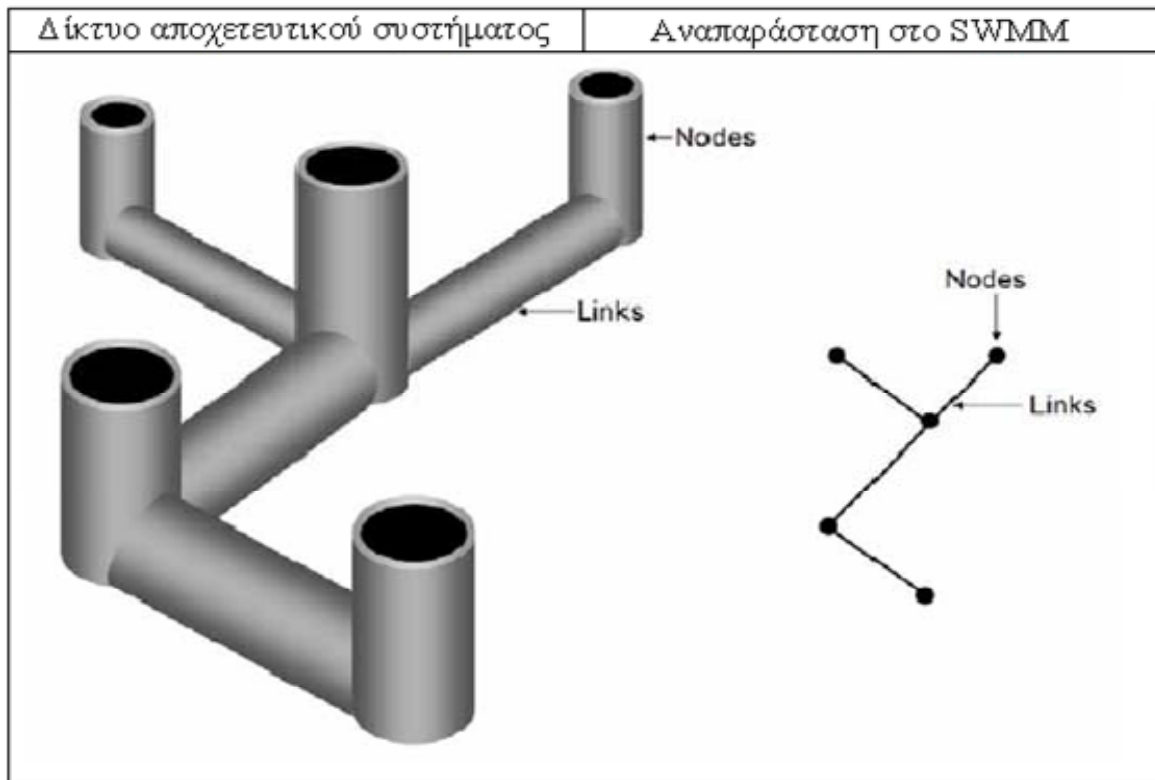
Σχήμα 4.5: Μοντελοποιημένες λεκάνες στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

4.3.6 Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων είναι απαραίτητος ο καθορισμός κάποιων παραμέτρων (simulation options). Όπως και στην περίπτωση των μη αστικών λεκανών, έτσι και εδώ, ως χρονικό βήμα εμφάνισης των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε αυτό των 10 min. Ως τέλος της ανάλυσης για γεγονότα βροχόπτωσης 1 h και 3 h επιλέχθηκαν οι 6 h για τους λόγους που αναφέραμε στο εδάφιο 4.2.3. Για υετογράμματα 6 h και 12 h το τέλος της ανάλυσης συμπίπτει αντίστοιχα με την διάρκεια της βροχόπτωσης. Όσον αφορά τις παραμέτρους της δυναμικής διόδευσης, επιλέχθηκε να ορίζεται η υπερκρίσιμη ροή τόσο με βάση την κλίση όσο και με τον αριθμό Froude, και οι απώλειες ενέργειας με βάση την εξίσωση του Darcy-Weisbach.

4.3.7 Αναπαράσταση του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου

Το λογισμικό SWMM αναπαριστά το αποχετευτικό δίκτυο ως μια σειρά κόμβων (nodes) και συνδέσμων (links). Οι σύνδεσμοι αυτοί ελέγχουν την ροή από τον έναν κόμβο στον άλλο, και ουσιαστικά αναπαριστούν τους αγωγούς του δικτύου (ανοιχτούς ή κλειστούς). Οι κόμβοι είναι αυτοί που ορίζουν το υψόμετρο του αποχετευτικού συστήματος και το μεταβλητό με το χρόνο υδραυλικό ύψος σε κάθε αγωγό που συνδέεται με τον αντίστοιχο κόμβο. Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται το αποχετευτικό δίκτυο όπως είναι στην πραγματικότητα και όπως απεικονίζεται στο μοντέλο. Στο μοντέλο, το νερό που μεταφέρεται μέσω των αγωγών και των φρεατίων εκρέει σε έναν τελικό κόμβο που ονομάζεται σημείο εκβολής (outfall). Στην περίπτωση μας, έχουμε δύο τέτοια σημεία, το ρέμα Ποδονίφτη και το σκουφοειδή αγωγό. Το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο μοντελοποιήθηκε εφαρμόζοντας πιστά τα δεδομένα της μελέτης. Στο σύστημα περάστηκαν όλα τα φρεάτια και οι αγωγοί του υφιστάμενου και του προτεινόμενου δικτύου ομβρίων. Τα στοιχεία του προτεινόμενου δικτύου, εισήχθησαν με μεγάλη ακρίβεια, καθώς χρησιμοποιήσαμε τόσο τις διαθέσιμες μηκοτομές των νέων αγωγών όσο και χάρτες της ΕΥΔΑΠ κλίμακας 1:500. Να σημειωθεί ότι, το προτεινόμενο δίκτυο εκτείνεται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης και οι χάρτες της ΕΥΔΑΠ που είχαμε στη διάθεση μας αφορούν αυτό το τμήμα. Οι χάρτες αυτοί απεικονίζουν με μεγάλη λεπτομέρεια το σύνολο και των προτεινόμενων αγωγών και φρεατίων του δικτύου ομβρίων. Συγκεκριμένα, στους χάρτες φαίνονται τα μήκη, οι κλίσεις και τα είδη των αγωγών με τις αντίστοιχες διαστάσεις, οι υψομετρικές τους θέσεις καθώς και όλα τα φρεάτια αριθμημένα. Καθίσταται σκόπιμο να αναφερθεί, ότι για το υφιστάμενο δίκτυο ομβρίων δεν υπήρχαν διαθέσιμες μηκοτομές και από τους χάρτες της ΕΥΔΑΠ μπορέσαμε να αντλήσουμε στοιχεία μόνο για τους παλιούς αγωγούς που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι υπόλοιποι υφιστάμενοι αγωγοί και ο σκουφοειδής αγωγός που περιγράφονται ανεπαρκώς στη μελέτη και δεν απεικονίζονται στα σχέδια, εισήχθησαν στο σύστημα με υπολογισμούς που έγιναν με βάση τα υψόμετρα και τις κλίσεις γειτονικών αγωγών. Να σημειωθεί ότι όλα τα φρεάτια εισήχθησαν στο μοντέλο με τις ονομασίες που είχαν στην μελέτη, ενώ στους αγωγούς δώσαμε εμείς ονομασίες ανάλογα με την οδό στην οποία κείνται. Στον Πίνακα 4.4 φαίνονται ενδεικτικά όλα τα υδραυλικά στοιχεία του βασικού συλλεκτήρα του δικτύου ομβρίων. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τους υπόλοιπους αγωγούς που προστέθηκαν στο δίκτυο και τα αναλυτικά στοιχεία τους φαίνονται στο Παράρτημα 4. Από το υφιστάμενο δίκτυο, αξίζει να παρουσιάσουμε μόνο τα στοιχεία του σκουφοειδούς αγωγού, ο οποίος παραμένει ως έχει από προηγούμενη μελέτη. Για τον αγωγό αυτό, εκτιμήσαμε ότι επιβάλλεται η περιγραφή του για την κατανόηση του προβλήματος και τα υδραυλικά του στοιχεία παρουσιάζονται στο Παράρτημα 4.



Σχήμα 4.6: Κόμβοι και σύνδεσμοι στην πραγματικότητα και στο μοντέλο του SWMM

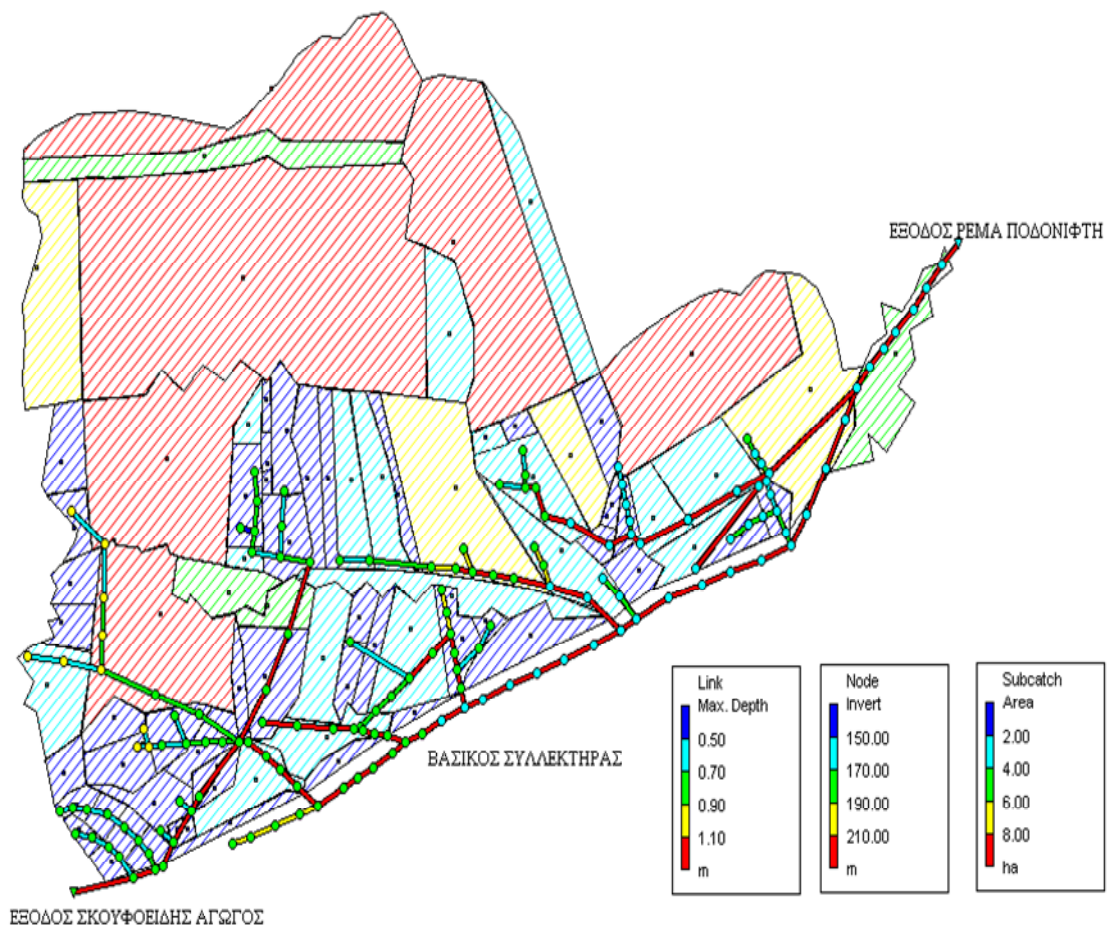
Πίνακας 4.4 Αναλυτικά στοιχεία του βασικού συλλεκτήρα όπως προέκυψαν από τις μηκοτομές και τους χάρτες.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ(m)	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
ΜΑΡΑΘ_1	ΒΣ-35	177.65	175.25	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΒΣ-34	177.83	175.00			
ΜΑΡΑΘ_2	ΒΣ-34	177.83	175.00	55	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΒΣ-33	177.60	174.65			
ΜΑΡΑΘ_3	ΒΣ-33	177.60	174.65	55	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΒΣ-32	177.25	174.29			
ΜΑΡΑΘ_4	ΒΣ-32	177.25	174.29	52	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΒΣ-31	176.88	173.55			
ΜΑΡΑΘ_5	ΒΣ-31	176.88	173.55	85	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.4
	ΒΣ-30	176.04	172.80			
ΜΑΡΑΘ_6	ΒΣ-30	176.04	172.80	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.4
	ΒΣ-29	175.53	172.35			
ΜΑΡΑΘ_7	ΒΣ-29	175.53	172.35	48	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.4
	ΒΣ-28	175.25	171.93			
ΜΑΡΑΘ_8	ΒΣ-28	175.25	171.93	66	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.4
	ΒΣ-27	174.70	170.80			
ΜΑΡΑΘ_9	ΒΣ-27	174.70	170.80	41.5	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.00
	ΒΣ-26	174.41	170.48			
ΜΑΡΑΘ10	ΒΣ-26	174.41	170.48	49	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.00
	ΒΣ-25	174.00	170.09			
ΜΑΡΑΘ11	ΒΣ-25	174.00	170.09	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.00
	ΒΣ-24	173.25	169.61			
ΜΑΡΑΘ12	ΒΣ-24	173.25	169.61	63.5	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.00
	ΒΣ-23	172.80	169.10			
ΜΑΡΑΘ13	ΒΣ-23	172.80	169.10	44.7	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.00x2.00
	ΒΣ-22	172.26	168.79			
ΜΑΡΑΘ14	ΒΣ-22	172.26	168.79	59.1	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.00x2.00
	ΒΣ-21	171.83	168.37			
ΜΑΡΑΘ15	ΒΣ-21	171.83	168.37	60.2	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.00x2.00
	ΒΣ-20	171.43	167.95			
ΜΑΡΑΘ16	ΒΣ-20	171.43	167.95	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.00x2.00
	ΒΣ-19	170.94	167.53			
ΜΑΡΑΘ17	ΒΣ-19	170.94	167.53	65.2	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.00x2.00
	ΒΣ-18	170.40	167.07			
ΜΑΡΑΘ18	ΒΣ-18	170.40	167.07	68.8	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.00x2.00
	ΒΣ-17	169.92	166.58			
ΜΑΡΑΘ19	ΒΣ-17	169.92	166.58	40	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-16	169.42	166.30			
ΜΑΡΑΘ20	ΒΣ-16	169.42	166.30	67.7	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-15	168.88	165.83			

Πίνακας 4.4 (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ(m)	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
ΜΑΡΑΘ21	ΒΣ-15	168.88	165.83	69	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-14	168.45	165.34			
ΜΑΡΑΘ22	ΒΣ-14	168.45	165.34	61.8	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-13	168.00	164.91			
ΜΑΡΑΘ23	ΒΣ-13	168.00	164.91	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-12	167.40	164.48			
ΜΑΡΑΘ24	ΒΣ-12	167.40	164.48	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-11	166.90	164.06			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_1	ΒΣ-11	166.90	164.06	49	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-10	166.47	163.16			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_2	ΒΣ-10	166.47	163.16	76	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-9	164.85	161.56			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_3	ΒΣ-9	164.85	161.56	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-8	164.35	161.04			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_4	ΒΣ-8	164.35	161.04	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-7	164.00	160.60			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_5	ΒΣ-7	164.00	160.60	65	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-6	163.80	159.95			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_6	ΒΣ-6	163.80	159.95	64	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-5	163.75	159.31			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_7	ΒΣ-5	163.75	159.31	59	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-4	163.50	158.72			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_8	ΒΣ-4	163.50	158.72	83	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-3	162.7	157.89			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_9	ΒΣ-3	162.7	157.89	70	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-2	161.43	157.19			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ10	ΒΣ-2	161.43	157.19	74	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΒΣ-1	160.28	156.36			
28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ11	ΒΣ-1	160.28	156.36	73	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	3.50x2.00
	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	155.25	155.18			

Παρακάτω στο Σχήμα 4.7, παρουσιάζεται μοντελοποιημένη όλη η περιοχή μελέτης και επισημαίνονται με διαφορετικούς χρωματισμούς όλες οι λεκάνες ανάλογα με την έκταση τους, όλα τα φρεάτια ανάλογα με τα υψόμετρα πυθμένα τους και όλοι οι αγωγοί ανάλογα με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής τους .



Σχήμα 4.7 Συνολική αναπαράσταση του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων στο λογισμικό του SWMM.

Αυτό που απέμεινε πριν την εφαρμογή της προσομοίωσης είναι η καταχώριση του σημείου αποχέτευσης της κάθε λεκάνης του συστήματος. Όπως προαναφέραμε κάθε λεκάνη έχει ένα και μοναδικό σημείο εκβολής. Προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή των παροχών στους αγωγούς και να αποφευχθεί η υπερπλήρωση συγκεκριμένων κόμβων, κρίθηκε απαραίτητη μια επιπλέον διαίρεση ορισμένων λεκανών (από αυτές που αναφέρθηκαν στους πίνακες 4.1 και 4.3). Η διαίρεση των λεκανών και η εκχώρηση σε κάθε μία ενός σημείου εκβολής, πραγματοποιήθηκε με δοκιμαστικά τρεξίματα του προγράμματος και με κριτήριο να υπάρχει μια σχετική ομοιομορφία στα ποσοστά πλήρωσης κατά μήκος του αγωγού. Να σημειωθεί ότι προχωρήσαμε σε ονοματολογία των λεκανών ανάλογα με τους αγωγούς στους οποίους αποχετεύονται και ορισμένες φορές ανάλογα με το ποσοστό της έκτασης που αποχετεύεται στον καθένα. Στους πίνακες 4.5 και 4.6, παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι λεκάνες και το σημείο εκβολής της καθεμιάς.

Πίνακας 4.5 Όλες οι υπολεκάνες της περιοχής μελέτης, που αποχετεύονται στο σκουφοειδή αγωγό και τα σημεία αποχέτευσης τους.

ΛΕΚΑΝΗ	ΑΠΟΧΕΤΕΥΕΤΑΙ	ΣΤΟΝ ΚΟΜΒΟ	ΕΚΤΑΣΗ (ha)
I_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	Ολόκληρη	ΔΙΑΜ2	6.490
II_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ40	Το 40% της II_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	ΚΟΝΤ2	1.048
II_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ60	Το 60% της II_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	ΚΟΝΤ4	1572
VIII_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ60	Το 60% της VIII_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	25ΗΣ_1	3.473
VIII_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ40α	Το 20% της VIII_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	ΑΜΑΡ2	1.157
VIII_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ40β	Το 20% της λεκάνης VIII_25ΗΣΜΑΡΤΙΟΥ	ΤΣΑΚ2	1.157
0.19	Ολόκληρη	25ΗΣ_3	0.190
0.29	Ολόκληρη	25ΗΣ_3	0.290
0.43	Ολόκληρη	25ΗΣ_2	0.430
0.57	Ολόκληρη	25ΗΣ_1	0.570
II_ΟΙΤΗΣ_ΣΚ	Ολόκληρη	25ΗΣ_1	2.122
II_ΤΑΥΓΕΤΟΥ_ΣΚ	Ολόκληρη	25ΗΣ_1	12.471
II_ΕΛΙΚΩΝΟΣ_ΣΚ	Ολόκληρη	25ΗΣ_1	4.009
II_ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΣΚ40	Το 40% της II_ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΣΚ	ΠΑΡΝ2	0.788
II_ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΣΚ40α	Το 24% της II_ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΣΚ	ΕΥΣΤΡ1	0.473
II_ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΣΚ60α	Το 36% της II_ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΣΚ	ΔΗΜΟΚ3	0.709
VIII_ΟΙΤΗΣ_ΣΚ	Ολόκληρη	25ΗΣ_1	5.29
VIII_ΤΑΥΓΕΤΟΥ_ΣΚ	Ολόκληρη	25ΗΣ_2	10533
XVI_αΓΙΑΣ	Το 13.5% της XVI	ΓΣ-5	0.789
XVI_βΓΙΑΣ	Το 13.5% της XVI	ΓΣ-2	0.789
XVI_αΥΑΚ	Το 18.25% της XVI	ΥΑΚ-8	1068
XVI_βΥΑΚ	Το 18.25% της XVI	ΥΑΚ-4	1068
XVI_γΥΑΚ	Το 18.25% της XVI	ΥΑΚ-7	1068
XVI_δΥΑΚ	Το 18.25% της XVI	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ1	1068
XVII_BYΡ_ΔΥΤΙΚΑ	Το 9% της XVII (δυτικά της Βασ. Παύλου)	ΒΡΑ-1	0.665
XVII_BYΡ_ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	Το 17% της XVII ανατολικά της Βασ. Παύλου	ΒΡ-2	1.256
XVII_MAZ_ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	Το 10% της XVII	ΜΖ-2	0.739
XVII_Λ.ΔΗΜΟΚ	Το 11% της XVII	ΛΔ-1	0.813
XVII_ΒΠΑΥΛΟΥα	Το 26.5% της XVII	ΒΠ-6	1.959
XVII_ΒΠΑΥΛΟΥβ	Το 26.5% της XVII	ΒΠ-4	1.959

Πίνακας 4.6 Όλες οι υπολεκάνες της περιοχής μελέτης, που αποχετεύονται στον Ποδονίφτη και τα σημεία αποχέτευσης τους.

ΛΕΚΑΝΗ	ΑΠΟΧΕΤΕΥΕΤΑΙ	ΣΤΟΝ ΚΟΜΒΟ	ΕΚΤΑΣΗ (ha)
I ΟΙΤΗΣ	Ολόκληρη	ΟΤ-4	11.033
I ΤΑΥΓΕΤΟΥ	Ολόκληρη	ΤΓ-4	40.238
I ΕΛΙΚΩΝΟΣ	Ολόκληρη	ΕΛ-6	4.543
I ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Ολόκληρη	ΑΔ-5	2.596
II ΟΙΤΗΣ	Ολόκληρη	ΟΤ-4	0.236
II ΤΑΥΓΕΤΟΥ	Ολόκληρη	ΤΓ-4	2.201
II ΕΛΙΚΩΝΟΣ	Ολόκληρη	ΕΛ-5	0.445
II ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Ολόκληρη	ΑΔ-7Α	0.126
III ΤΑΥΓΕΤΟΥα	Το 40% της III ΤΑΥΓΕΤΟΥ	ΤΓ-3	1.184
III ΤΑΥΓΕΤΟΥβ	Το 60% της III ΤΑΥΓΕΤΟΥ	ΤΓ-4	1.780
III ΕΛΙΚΩΝΟΣ	Ολόκληρη	ΕΛ-3	2.418
III ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Ολόκληρη	ΑΔ-7	2.418
IV ΚΟΚΚΩΝΗ1	Το 70% της IV ΚΟΚΚΩΝΗ	ΚΟΚ-5	2.842
IV ΚΟΚΚΩΝΗ_ΧΑΟΥ	Το 30% της IV ΚΟΚΚΩΝΗ	ΕΜΠ4	1.218
IV ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1	Το 70% της IV ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	ΑΔ-1	15.022
IV ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ_ΧΑΟΥ	Το 30% της IV ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	ΧΑΟΥ3	6.438
IV ΧΑΟΥΛΑΝΤ_80	Το 80% της IV ΧΑΟΥΛΑΝΤ	ΕΜ-3	2.784
IV ΧΑΟΥΛΑΝΤ20α	Το 10% της IV ΧΑΟΥΛΑΝΤ	ΜΑΛ1	0.348
IV ΧΑΟΥΛΑΝΤ20β	Το 10% της IV ΧΑΟΥΛΑΝΤ	ΜΑΛ1	0.348
V ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ08	Το 8% της V ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	7-6-1α	0.932
V ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ25	Το 25% της V ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	ΕΜ-2	2.913
V ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ67	Το 67% της V ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	ΑΔ-6	7.810
VI ΚΟΚΚΩΝΗα	Το 50% της VI ΚΟΚΚΩΝΗ	ΚΟΚ-2	0.481
VI ΚΟΚΚΩΝΗβ	Το 50% της VI ΚΟΚΚΩΝΗ	ΧΑΟΥ1	0.481

Πίνακας 4.6 (συνέχεια)

ΛΕΚΑΝΗ	ΑΠΟΧΕΤΕΥΕΤΑΙ	ΣΤΟΝ ΚΟΜΒΟ	ΕΚΤΑΣΗ (ha)
VI_ΧΑΟΥΛΑΝΤ	Ολόκληρη	ΧΑΟΥ2	0.790
VIII_ΟΙΤΗΣ	Ολόκληρη	ΟΤ-4	0.498
VIII_ΤΑΥΓΕΤΟΥ	Ολόκληρη	ΤΓ-4	1.042
VII	Ολόκληρη	ΚΟΚ-2	1.200
IX	Ολόκληρη	ΒΣ-26	2.850
X	Ολόκληρη	ΟΤ-4	2.070
XI	Ολόκληρη	ΤΓ-4	2.850
XII_10α	Το 10% της XII	ΠΑΛ-1	0.873
XII_10β	Το 10% της XII	3	0.873
XII_10γ	Το 10% της XII	4-4'	0.873
XII_20	Το 20% της XII	ΕΛ-6	1.746
XII_45	Το 5% της XII	ΕΛ-1	3.928
XII_5	Το 45% της XII	1β	0.437
XIII	Ολόκληρη	ΑΔ-7	3.050
XIVα	Το 41% της XIV	ΔΛΑ-3	10.380
XIVβ	Το 8% της XIV	ΧΑΟΥ1	2.000
XIVγ	Το 8% της XIV	7-1	2.000
XIVδ	Το 14% της XIV	25Λ3-6	3.620
XIVε	Το 29% της XIV	25Λ3-6	7.380
XV	Ολόκληρη	ΒΣ-1	4.350
ΟΙΤΗΣ	Ολόκληρη	ΒΣ-35	0.660
ΤΑΥΓΕΤΟΥ	Ολόκληρη	ΒΣ-27	0.780
ΕΛΙΚΩΝΟΣ	Ολόκληρη	ΒΣ-26	0.400
ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Ολόκληρη	ΒΣ-20	1.740
ΚΟΝΔΥΛΑΚΗ1	Το 57.8% της Σ ΔΕΛΤΑ	ΚΟΝ-3	1.220
ΚΟΝΔΥΛΑΚΗ2	Το 42.2% της Σ ΔΕΛΤΑ	ΔΛ-4	0.89

4.4 Προσομοίωση δυαδικού δικτύου αποχέτευσης

4.4.1 Γενικά

Το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο, σχεδιάστηκε και μοντελοποιήθηκε στο λογισμικό SWMM για περίοδο επαναφοράς 25 ετών. Αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι το δίκτυο είναι ικανό να πραγματοποιεί υδραυλική διόδευση για πλημμυρικά φαινόμενα που αναφέρονται σε μια περίοδο το πολύ 25 χρόνων. Είναι προφανές ότι, όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς, τόσο αυξάνεται και η αιχμή, η ένταση και ο όγκος της πλημμύρας. Συνεπώς, σε ένα γεγονός βροχόπτωσης 25 ετών και άνω, πολλοί αγωγοί του υπογείου συστήματος προβλέπεται να υπερφορτιστούν και πολλά φρεάτια να πλημμυρίσουν. Με την εφαρμογή πλημμύρων σχεδιασμού μεγάλης περιόδου επαναφοράς στο απλό αποχετευτικό δίκτυο είναι δυνατός ο

υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών (π.χ. παροχών, ταχυτήτων) αλλά δεν είναι δυνατή η διόδευση της πλημμύρας αφού ορισμένοι αγωγοί λειτουργούν υπό πίεση και ορισμένα φρεάτια πλημμυρίζουν. Η ανάγκη για μελέτη της πραγματικής συμπεριφοράς του συστήματος σε τέτοια μεγάλα γεγονότα βροχόπτωσης, μας οδήγησε στην σύνθεση ενός πολυπλοκότερου συστήματος αποχέτευσης, του δυαδικού συστήματος. Με τον όρο δυαδικό σύστημα εννοούμε ένα σύστημα το οποίο θα αποτελείται από ένα δίκτυο υπογείων αγωγών και επιπρόσθετα από ένα σύστημα επιφανειακών ανοιχτών αγωγών τυπικής διατομής, αυτής των δρόμων. Το τελευταίο θα αναπαριστά ουσιαστικά τα επιφανειακά κανάλια μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί η ροή σε περίπτωση που πλημμυρίσει το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο. Με άλλα λόγια, θα είναι εφικτή η υδραυλική διόδευση, ακόμα για πολύ μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα. Από εδώ και πέρα, το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο θα ονομάζεται και αρχικό ή ελάσσων σύστημα και το επιφανειακό μείζον. Οι κόμβοι εισόδου του μείζονος δικτύου, θα είναι ίδιοι με αυτούς του ελάσσονος. Η διαφοροποίηση του μείζονος δικτύου έγκειται στην υψομετρική θέση και τη διατομή των αγωγών. Να σημειωθεί ότι, από τη στιγμή που σε κάθε κόμβο του συστήματος συνδέονται περισσότεροι του ενός αγωγοί, η μόνη μέθοδος που μπορεί να αναλύσει την υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος είναι η δυναμική μέθοδος και αυτή θα χρησιμοποιηθεί κατά τη μοντελοποίηση.

4.4.2 Υψομετρική θέση επιφανειακών αγωγών

Όσον αφορά την υψομετρική θέση, οι επιφανειακοί αγωγοί θα εισαχθούν στο μοντέλο, μετατοπισμένοι παράλληλα., και σε απόσταση ίση με τη διαφορά του υψόμετρου πυθμένα των υπόγειων αγωγών από το υψόμετρο ερυθράς. Για κάθε αγωγό του SWMM υπάρχουν οι επιλογές μετατόπισης εισόδου (Inlet Offset) και μετατόπισης εξόδου (Outlet Offset). Ως μετατόπιση εισόδου (Inlet Offset) για έναν αγωγό, εννοούμε την απόσταση από το σημείο εισόδου του επιφανειακού αγωγού (υψόμετρο ερυθράς) μέχρι το υψόμετρο πυθμένα του υπόγειου αγωγού. Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται η μετατόπιση εξόδου (Outlet Offset) για έναν αγωγό. Προκειμένου να κατανοήσουμε την διαδικασία υψομετρικής τοποθέτησης των επιφανειακών αγωγών, παραθέτουμε τον Πίνακα 4.7 όπου φαίνονται ενδεικτικά οι μετατοπίσεις που αφορούν τα 12 πρώτα τμήματα του βασικού συλλεκτήρα όπως αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό SWMM. Με τον ίδιο τρόπο, εισήχθησαν και οι επιφανειακοί αγωγοί του υπόλοιπου δικτύου.

Πίνακας 4.7: Υψομετρική τοποθέτηση επιφανειακών αγωγών, σε τμήμα του βασικού συλλεκτήρα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	(3)-(2)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ΣΜΑΡΑΘ_1	177.65	175.25	2.40	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	177.83	175.00	2.83	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_2	177.83	175.00	2.83	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	177.6	174.65	2.95	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_3	177.6	174.65	2.95	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	177.25	174.29	2.96	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_4	177.25	174.29	2.96	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	176.88	173.55	3.33	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_5	176.88	173.55	3.33	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	176.04	172.80	3.24	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_6	176.04	172.80	3.24	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	175.53	172.35	3.18	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_7	175.53	172.35	3.18	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	175.25	171.93	3.32	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_8	175.25	171.93	3.32	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	174.70	170.80	3.90	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ_9	174.70	170.80	3.90	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	174.41	170.48	3.93	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ10	174.41	170.48	3.93	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	174.00	170.09	3.91	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ11	174.00	170.09	3.91	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	173.25	169.61	3.64	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ
ΣΜΑΡΑΘ12	173.25	169.61	3.64	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
	172.8	169.10	3.70	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ

4.4.3 Διατομή επιφανειακών αγωγών

Επειδή ο προσδιορισμός των διατομών όλων των οδών της περιοχής με επιτόπου μετρήσεις θα ήταν πολύ χρονοβόρος, (αφού αναφερόμαστε σε έκταση 235.34 ha), προκειμένου να προσομοιώσουμε με ακρίβεια τις διατομές του επιφανειακού δικτύου των αγωγών χρησιμοποιήσαμε σε συνδυασμό με τους χάρτες της ΕΥΔΑΠ κλίμακας 1:500, το χαρτογραφικό λογισμικό Bing maps. Με εφαρμογή της επιλογής bird's eye view του παραπάνω λογισμικού επιτεύχθηκε εστίαση σε επίπεδο πεζοδρομίου και, έτσι, καταγράψαμε για όλους τους δρόμους που μας ενδιαφέρουν, πλάτη δρόμων και πεζοδρομίων. Ο υπολογισμός του πλάτους των δρόμων και των πεζοδρομίων της περιοχής μελέτης, έγινε με αφετηρία τη Λ. Κηφισίας. Συγκεκριμένα, θεωρήσαμε το πλάτος λωρίδας της Λ. Κηφισίας γνωστό και ίσο με 10.50 m και σε συγκεκριμένη εστίαση στο χάρτη μετρήσαμε αντίστοιχο πλάτος ίσο με 1.5 cm. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήσαμε μια σχέση μεταξύ εικονικής και πραγματικής απόστασης δηλαδή μια κλίμακα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 : Όψη τμήματος Λ. Κηφισίας με χρήση της δυνατότητας bird's eye view (Πηγή Bing Maps)

Στη συνέχεια εργαζόμενοι, στο ίδιο επίπεδο εστίασης προσδιορίσαμε όλα τα πλάτη των δρόμων και των πεζοδρομίων και τα διασταυρώσαμε με μετρήσεις στους χάρτες της ΕΥΔΑΠ. Προκειμένου να γίνει αντιληπτός ο τρόπος εργασίας μας, παραθέτουμε ενδεικτικά το Σχήμα 4.9 όπου παρουσιάζονται τα εικονικά πλάτη του δρόμου και του πεζοδρομίου και τα αντίστοιχα πραγματικά για την οδό Σ. Δέλτα. Με τον ίδιο τρόπο εργαστήκαμε και για τις υπόλοιπες οδούς.



Σχήμα 4.9: Εικονικά και πραγματικά πλάτη δρόμου και πεζοδρομίου για τη οδό Σ. Δέλτα (Πηγή Bing Maps)

Τελικά συνθέσαμε 8 κατηγορίες διατομών οδών. Για την ακρίβεια δημιουργήθηκαν διατομές δρόμων πλάτους 4.5 m 6.5 m και 7.5 m και 9 m και εφαρμόστηκαν πλάτη πεζοδρομίων 1.50 m, 2.40 m και 4.20 m. Οι επικλίσεις ελήφθησαν 2% για δρόμους πλάτους έως και 7.5 m και 2.5% για δρόμους πλάτους πάνω από 7.5. Η εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων ελήφθη παντού 1.5% (σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ, η επιθυμητή εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων κυμαίνεται μεταξύ 1-1.5% και δεν ξεπερνάει το 4%). Τέλος, κατά τον 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 του SWMM το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή οριζοντιογραφικών και υψομετρικών θέσεων κατά πλάτος μιας οδού. Τα στοιχεία αυτά, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες, όπου οι οδοί έχουν κατηγοριοποιηθεί με βάση το πλάτος πεζοδρομίου.

Πίνακας 4.8: Οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στοιχεία οδών με πλάτος πεζοδρομίου 2.40 m

Πλάτος δρόμου		4.50	Πλάτος δρόμου		6.50
Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση		Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση	
-4.65	2.186		-5.65	2.186	
-4.65	0.186		-5.65	0.186	
-2.25	0.150		-3.25	0.150	
-2.25	0.000		-3.25	0.000	
0.00	0.045		0.00	0.065	
2.25	0.000		3.25	0.000	
2.25	0.150		3.25	0.150	
4.65	0.186		5.65	0.186	
4.65	2.186		5.65	2.186	
Πλάτος δρόμου		7.50	Πλάτος δρόμου		9.00
Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση		Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση	
-6.15	2.186		-6.15	2.186	
-6.15	0.186		-6.15	0.186	
-3.75	0.150		-3.75	0.150	
-3.75	0.000		-3.75	0.000	
0.00	0.075		0.00	0.113	
3.75	0.000		3.75	0.000	
3.75	0.150		3.75	0.150	
6.15	0.186		6.15	0.186	
6.15	2.186		6.15	2.186	

Πίνακας 4.9: Οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στοιχεία οδών με πλάτος πεζοδρομίου 1.50 m

Πλάτος δρόμου		4.50	Πλάτος δρόμου		6.50	Πλάτος δρόμου		7.50
Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση		Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση		Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση	
-3.75	2.173		-4.75	2.173		-5.25	2.173	
-3.75	0.173		-4.75	0.173		-5.25	0.173	
-2.25	0.150		-3.25	0.150		-3.75	0.150	
-2.25	0.000		-3.25	0.000		-3.75	0.000	
0.00	0.045		0.00	0.065		0.00	0.075	
2.25	0.000		3.25	0.000		3.75	0.000	
2.25	0.150		3.25	0.150		3.75	0.150	
3.75	0.173		4.75	0.173		5.25	0.173	
3.75	2.173		4.75	2.173		5.25	2.173	

Πίνακας 4.10: Οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στοιχεία οδών με πλάτος πεζοδρομίου 4.20 m

Πλάτος δρόμου	9.00
Οριζοντιογραφική Θέση	Υψομετρική Θέση
-8.70	2.213
-8.70	0.213
-4.50	0.150
-4.50	0.000
0.00	0.113
4.50	0.000
4.50	0.150
8.70	0.213
8.70	2.213

Κάθε αγωγός του επιφανειακού δικτύου εντάσσεται σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες. Έτσι, λοιπόν οι παραπάνω διατομές αγωγών, εφαρμόστηκαν σε κάθε επιφανειακό αγωγό του συστήματος που βρίσκεται παράλληλα στον αντίστοιχο υπόγειο. Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζονται όλες οι οδοί από όπου περνάει το δίκτυο ομβρίων και δίπλα οι διατομές που ισχύουν για τους αντίστοιχους επιφανειακούς αγωγούς, που είναι ουσιαστικά οι διατομές των δρόμων που περιγράφηκαν παραπάνω.

Πίνακας 4.11: Διατομές αγωγών επιφανειακού δικτύου

ΟΔΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ
	Πλάτος Δρόμου (m)	Πλάτος Πεζοδρομίου (m)
25ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ	9.00	4.20
28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	9.00	2.40
ΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1	9.00	4.20
ΑΜΑΡΡΥΛΙΔΟΣ	7.50	2.40
Β ΠΑΥΛΟΥ	6.50	2.40
ΒΥΡΩΝΟΣ	6.50	1.50
ΓΙΑΣΕΜΙΩΝ	6.50	1.50
ΣΤ.ΔΕΛΤΑ	9.00	2.40
Λ.ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ	9.00	2.40
ΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ	9.00	4.20
ΕΘΝ.ΜΑΚΑΡΙΟΥ	7.50	1.50
ΕΛΙΚΩΝΟΣ	4.50	2.40
ΕΜ.ΜΠΕΝΑΚΗ	6.50	1.50
ΚΑΛΒΟΥ	6.50	1.50
ΚΑΛΛΑΡΗ	7.50	2.40
ΚΟΚΚΩΝΗ	6.50	1.50

Πίνακας 4.11 (συνέχεια)

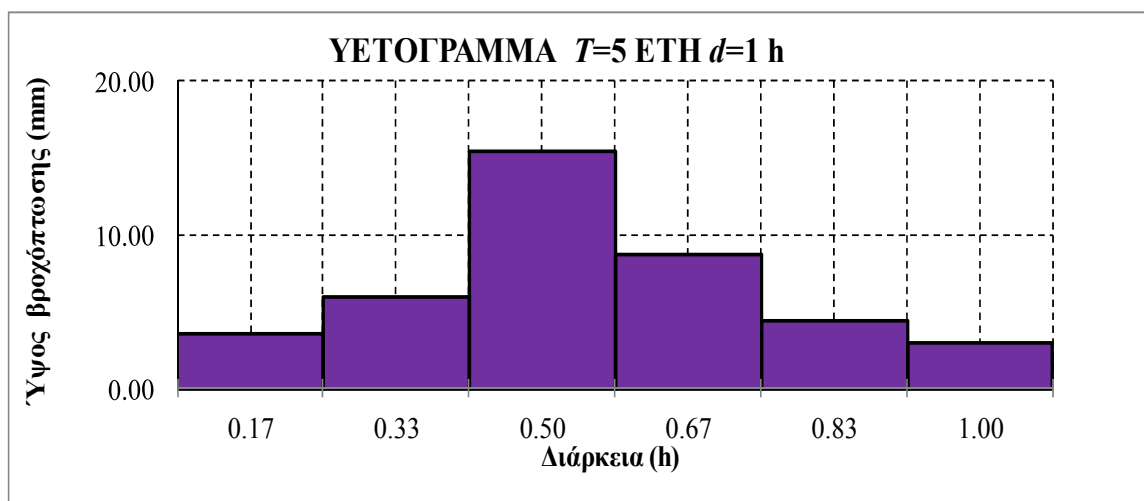
ΟΔΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ
	Πλάτος Δρόμου (m)	Πλάτος Πεζοδρομίου (m)
ΚΟΝΔΥΛΑΚΗ	4.50	1.50
ΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ	7.50	2.40
ΜΑΖΑΡΑΚΗ	4.50	1.50
ΜΑΛΑΚΑΣΗ	7.50	1.50
ΜΑΡΑΘΩΝΟΔΡΟΜΩΝ	7.50	2.40
ΟΙΤΗΣ	6.50	2.40
ΠΑΛΑΜΑ	6.50	2.40
ΠΑΡΝΗΘΟΣ	6.50	1.50
ΣΤΑΔΙΟΥ	7.50	2.40
ΤΑΥΓΕΤΟΥ	6.50	2.40
ΤΣΑΚΩΝΑ	7.50	2.40
ΥΑΚΙΝΘΩΝ	6.50	1.50
ΧΑΟΥΛΑΝΤ	7.50	2.40

Επιπλέον, το εργαλείο Cross Section Editor του λογισμικού του SWMM έχει τη δυνατότητα σχεδίασης των παραπάνω διατομών των δρόμων. Στο Παράρτημα 7, παρουσιάζονται όλες οι διατομές των επιφανειακών αγωγών που χρησιμοποιήθηκαν.

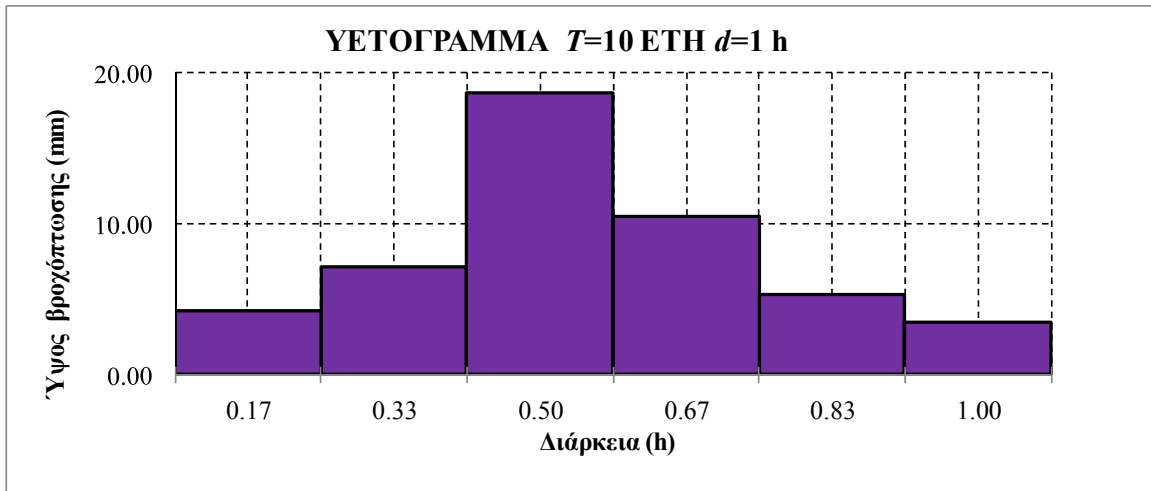
5 Αποτελέσματα

5.1 Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού

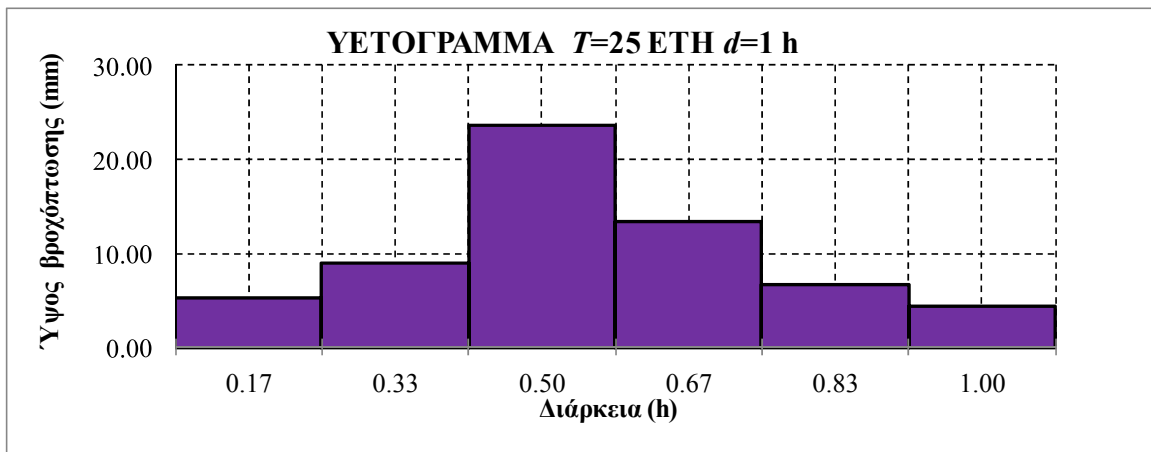
Σύμφωνα με τη σχέση 2.11 για τις όμβριες καμπύλες για διάφορα T , και d καταρτίσαμε τα υετογράμματα σχεδιασμού. Αυτά προέκυψαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ όπως αυτή περιγράφηκε στο εδάφιο 2.2.2. Το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης που εξετάζεται είναι των 10 min το οποίο, για την εξεταζόμενη λεκάνη, θεωρείται το πλέον κατάλληλο για την παραγωγή πλημμυρικών υδρογραφημάτων. Δημιουργήσαμε υετογράμματα για 7 διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 έτη) και για 4 διαφορετικές διάρκειες. Συνολικά δηλαδή, συνθέσαμε $4 \times 7 = 28$ υετογράμματα σχεδιασμού. Με αυτόν τρόπο καλύψαμε ένα μεγάλο εύρος πλημμυρικών γεγονότων και, έτσι, μελετήσαμε με μεγάλη λεπτομέρεια την υδραυλική και υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών της περιοχής μελέτης. Παρακάτω αναπαρίστανται σχηματικά όλα τα υετογράμματα, ενώ στο Παράρτημα 1 δίνονται όλοι οι πίνακες υπολογισμών. Τα παραπάνω υετογράμματα εφαρμόστηκαν ως δεδομένο εισόδου και για την αστική και για την μη αστική λεκάνη.



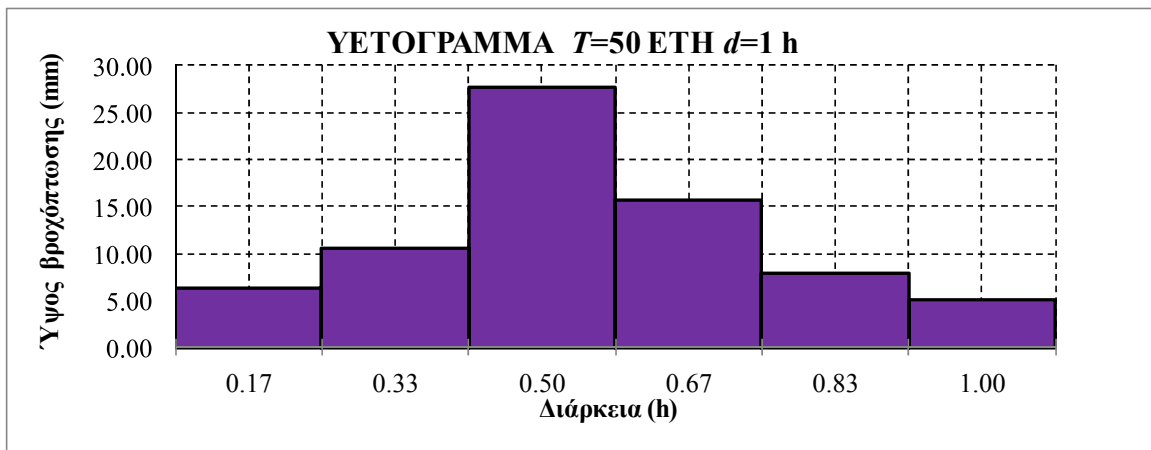
Σχήμα 5.1: Υετόγραμμα για $T = 5$ και $d = 1$ h.



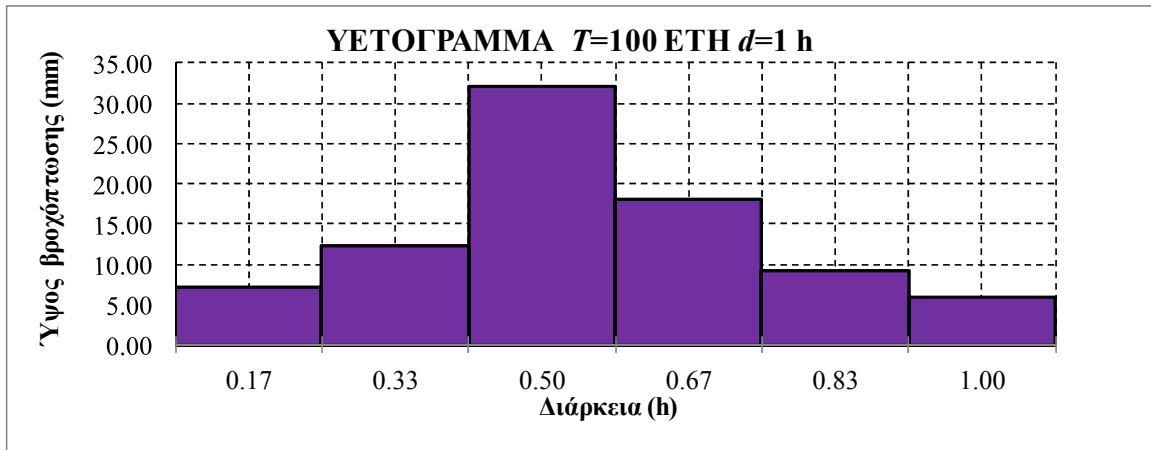
Σχήμα 5.2: Υετόγραμμα για $T = 10$ και $d = 1$ h.



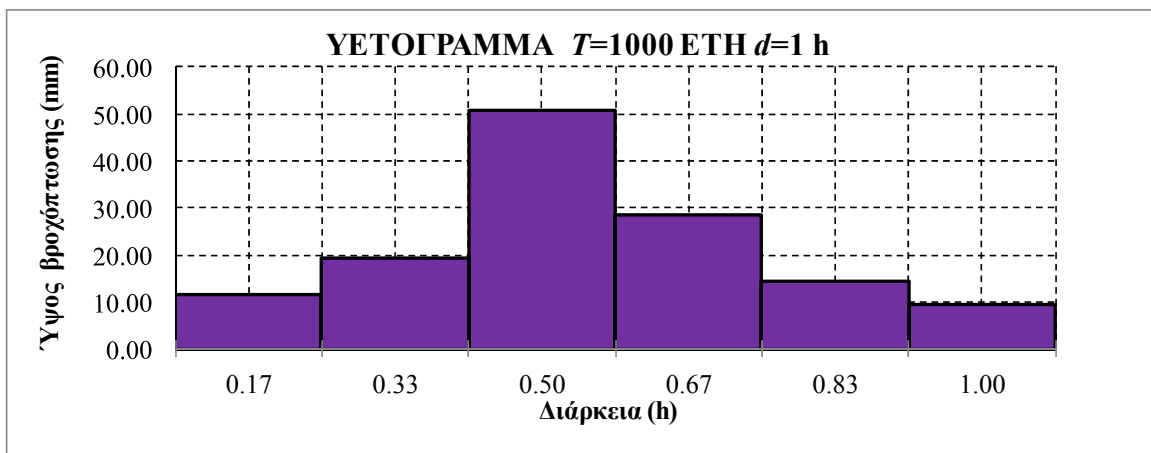
Σχήμα 5.3: Υετόγραμμα για $T = 25$ και $d = 1$ h.



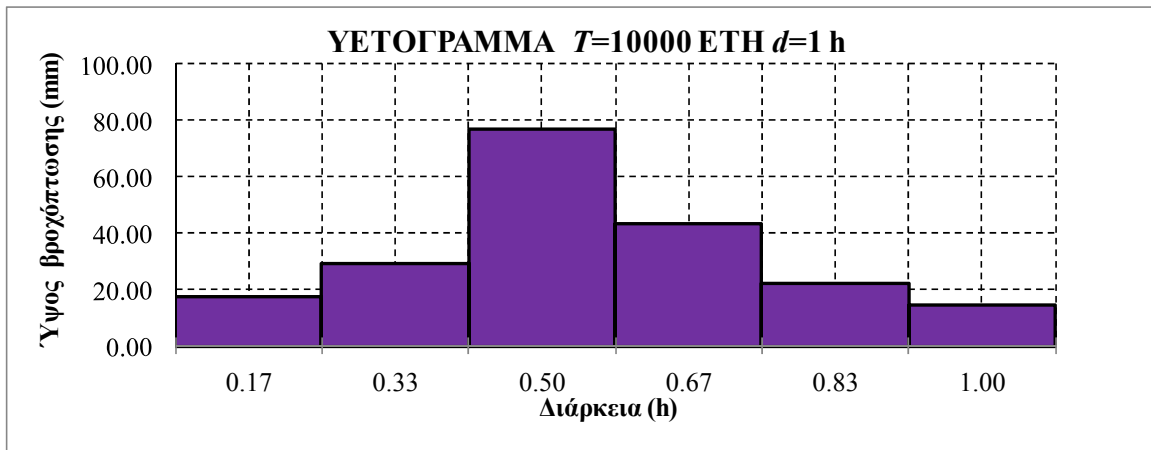
Σχήμα 5.4: Υετόγραμμα για $T = 50$ και $d = 1$ h.



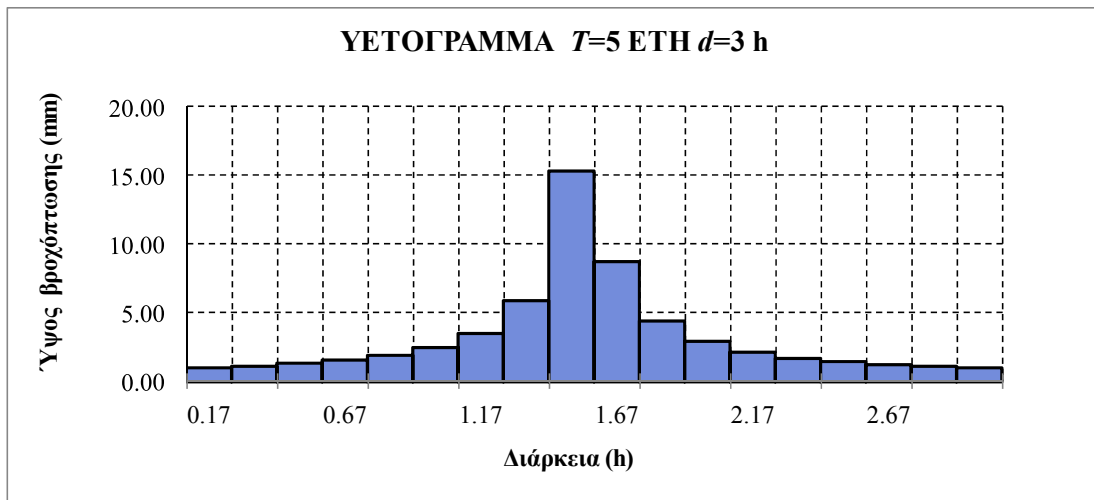
Σχήμα 5.5: Υετόγραμμα για $T = 100$ και $d = 1$ h.



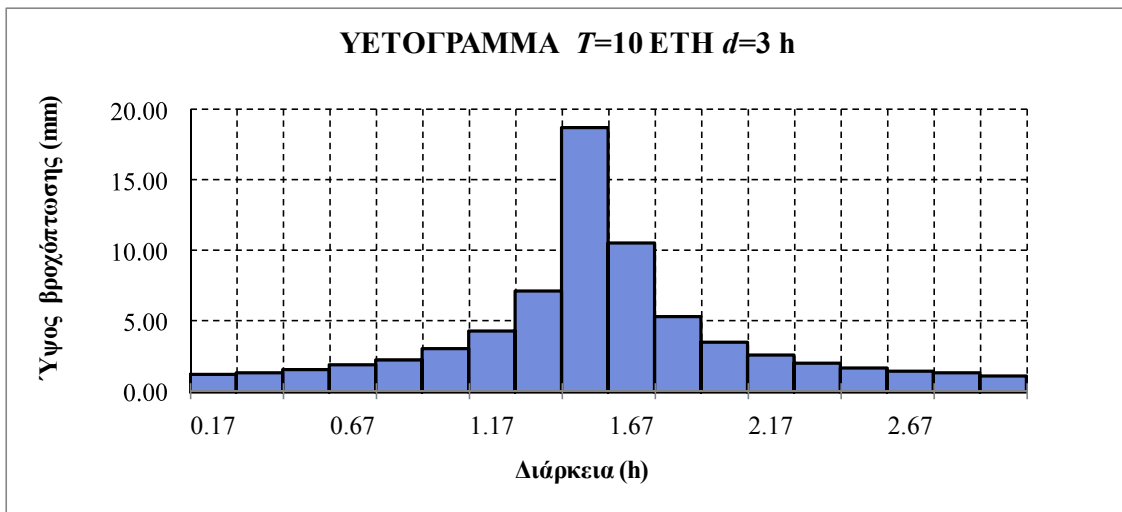
Σχήμα 5.6: Υετόγραμμα για $T = 1000$ και $d = 1$ h.



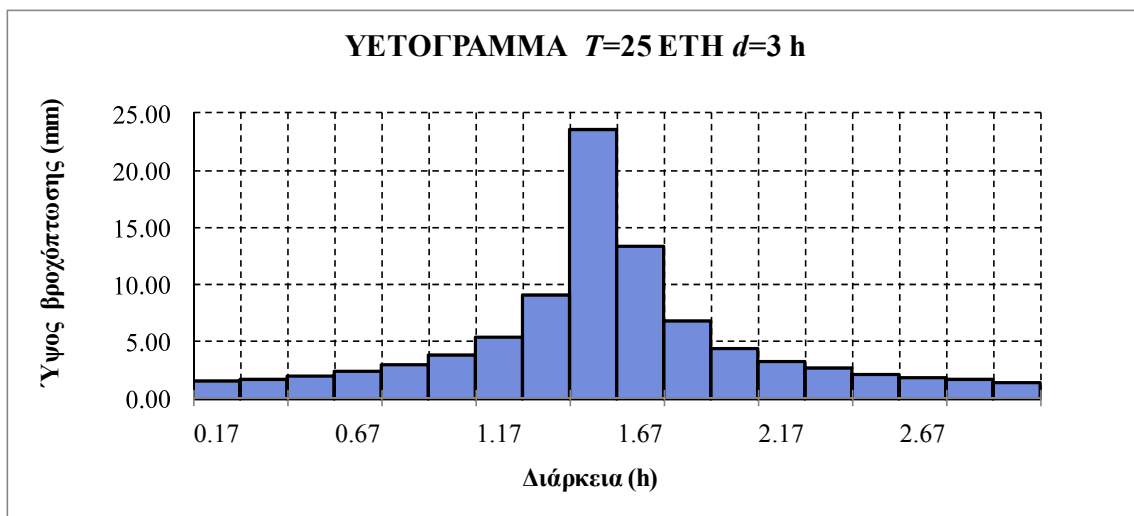
Σχήμα 5.7: Υετόγραμμα για $T = 10000$ και $d = 1$ h.



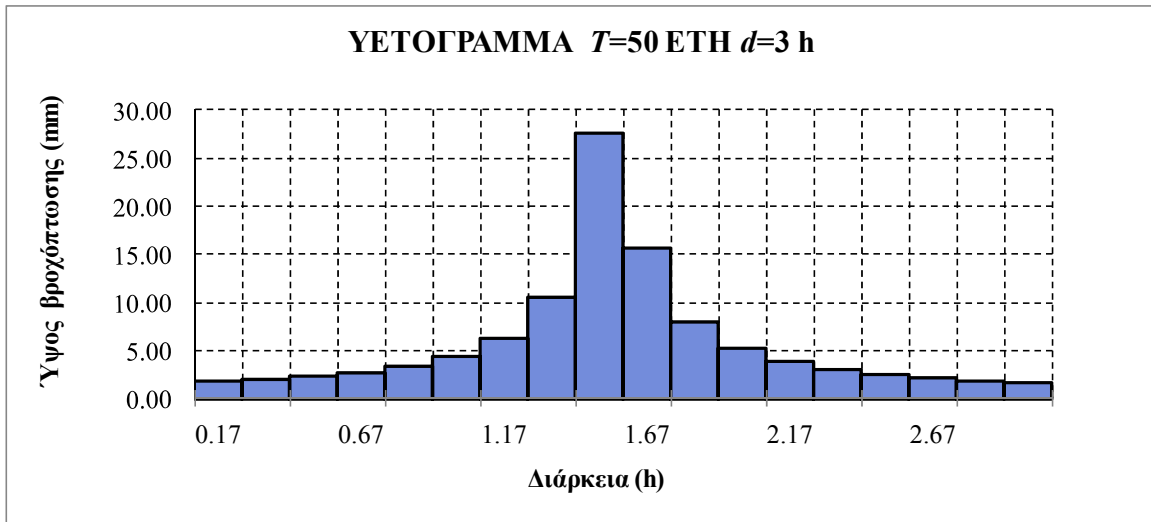
Σχήμα 5.8: Υετόγραμμα για $T = 5$ και $d = 3$ h.



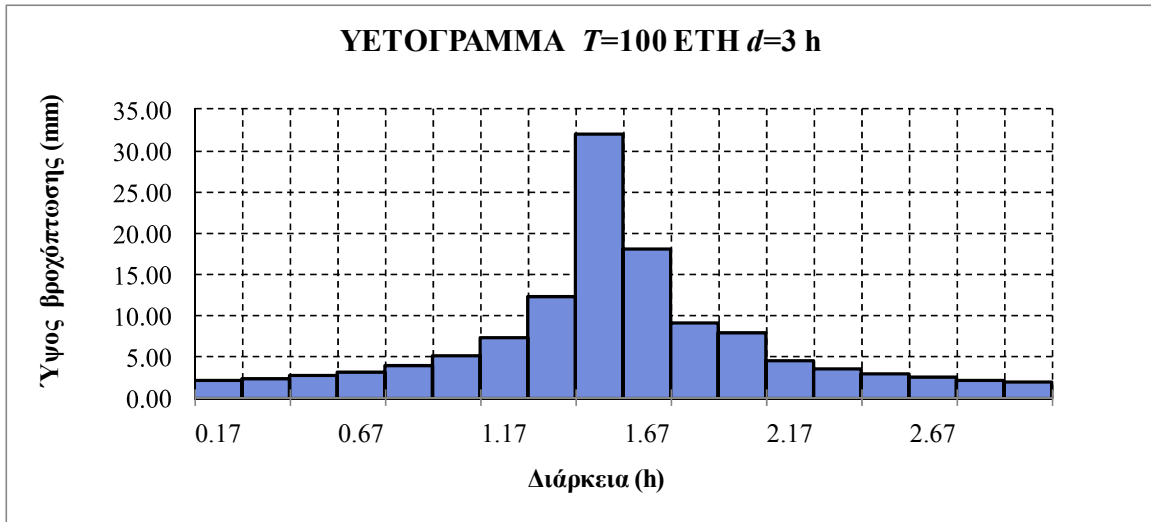
Σχήμα 5.9: Υετόγραμμα για $T = 10$ και $d = 3$ h.



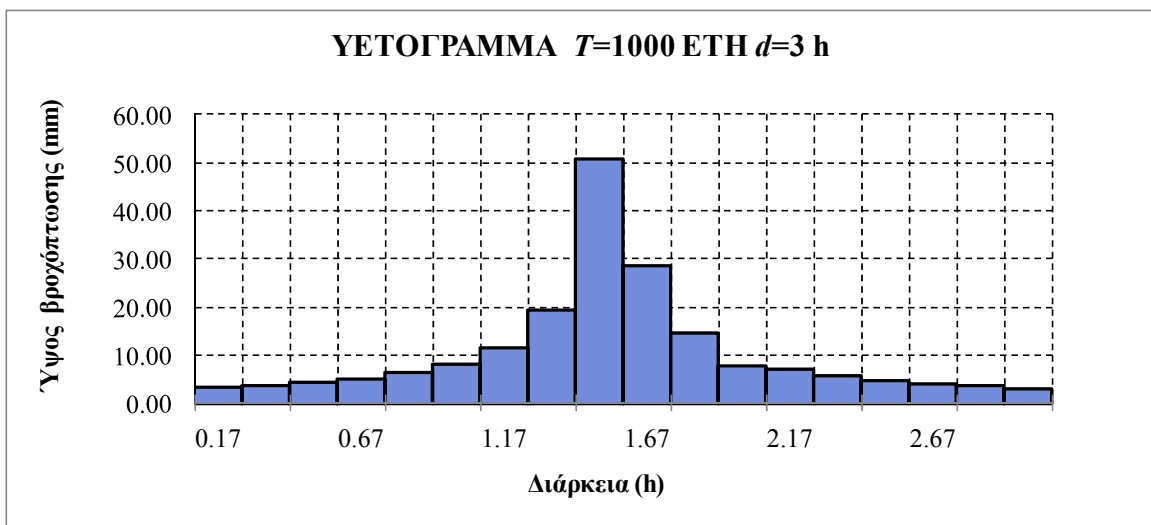
Σχήμα 5.10: Υετόγραμμα για $T = 25$ και $d = 3$ h.



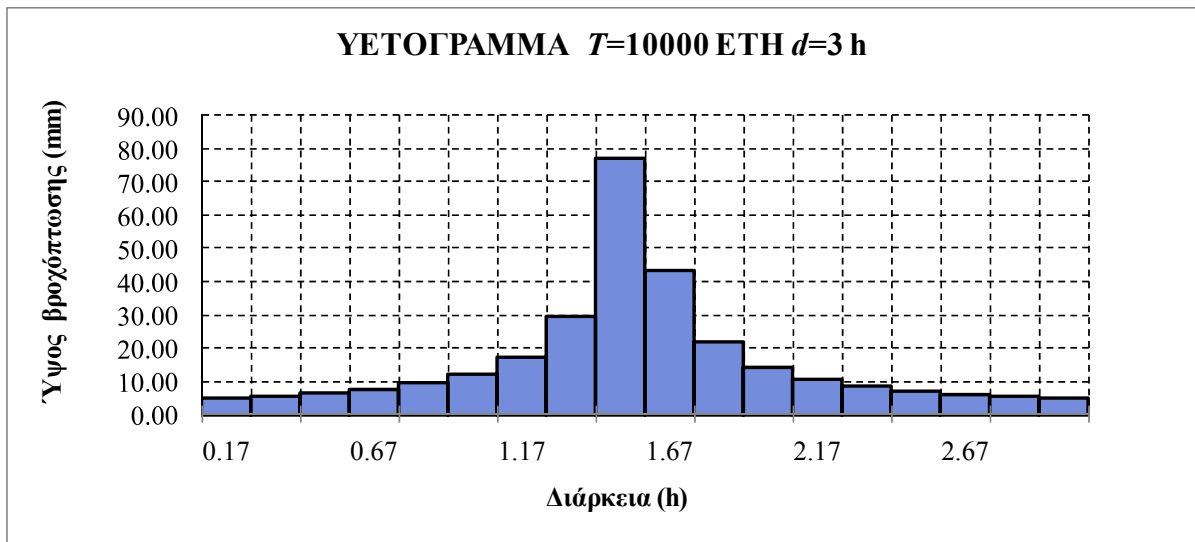
Σχήμα 5.11: Υετόγραμμα για $T = 50$ και $d = 3$ h.



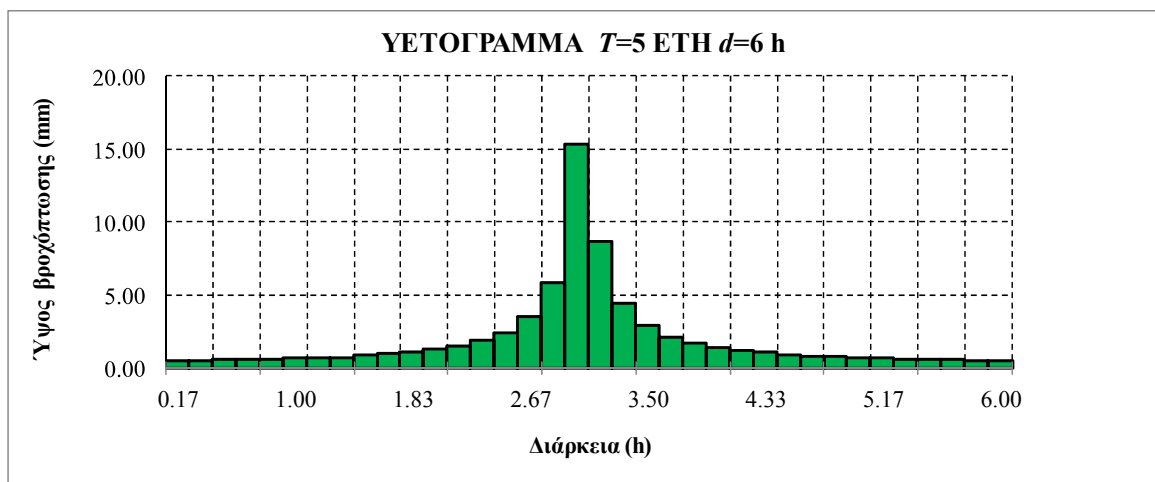
Σχήμα 5.12: Υετόγραμμα για $T = 100$ και $d = 3$ h.



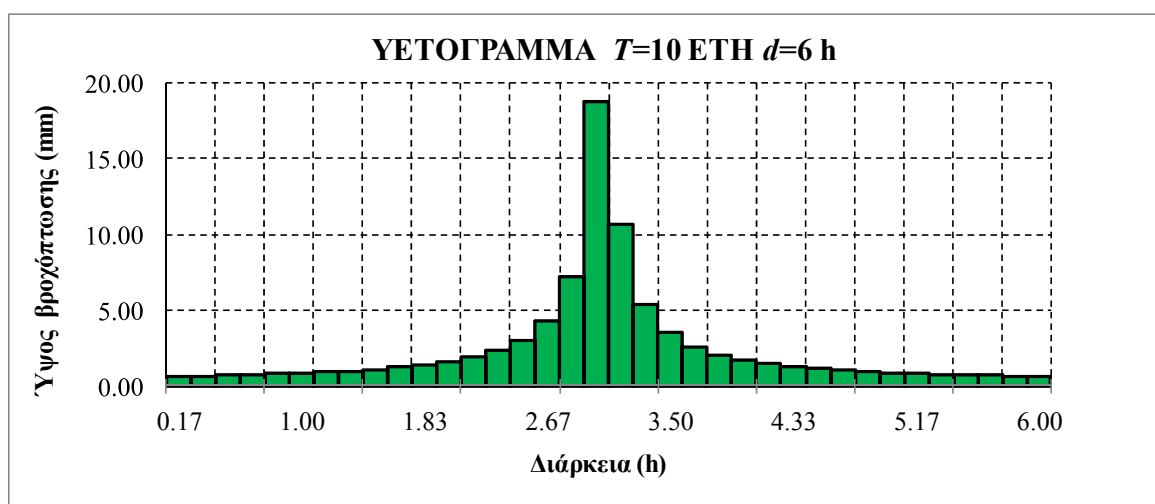
Σχήμα 5.13: Υετόγραμμα για $T = 1000$ και $d = 3$ h.



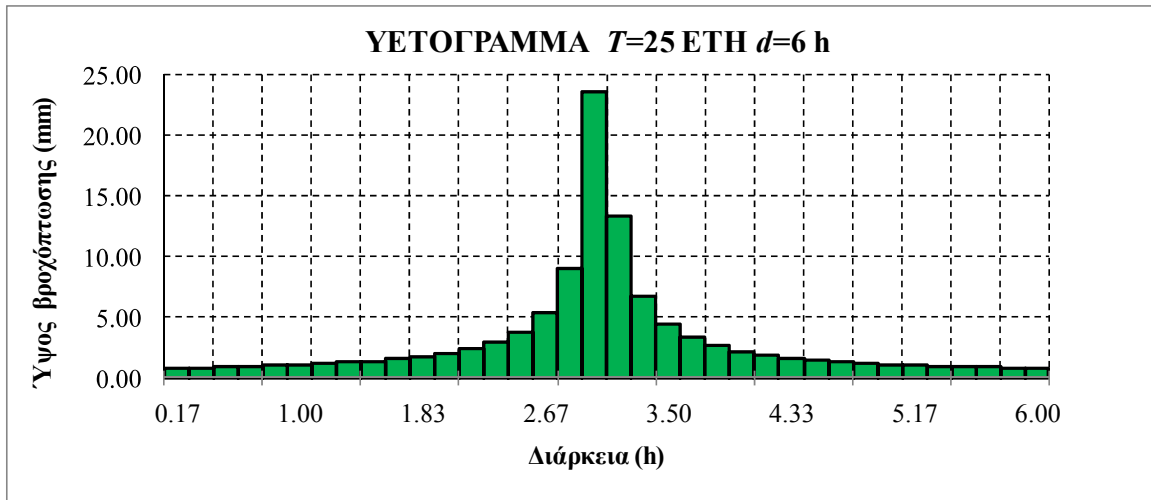
Σχήμα 5.14: Υετόγραμμα για $T = 10000$ και $d = 3$ h.



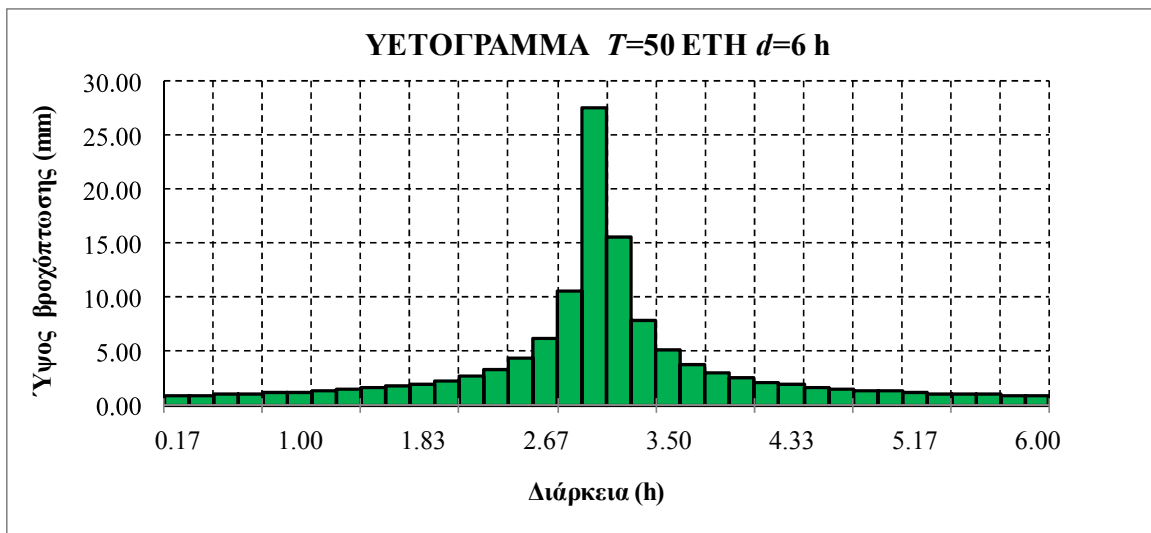
Σχήμα 5.15: Υετόγραμμα για $T = 5$ και $d = 6$ h.



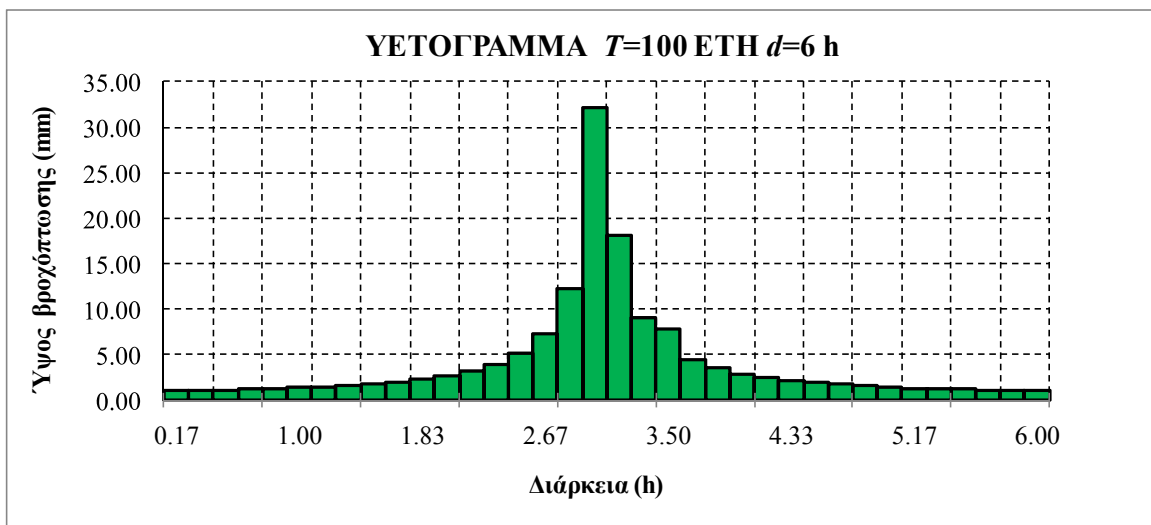
Σχήμα 5.16: Υετόγραμμα για $T = 10$ και $d = 6$ h.



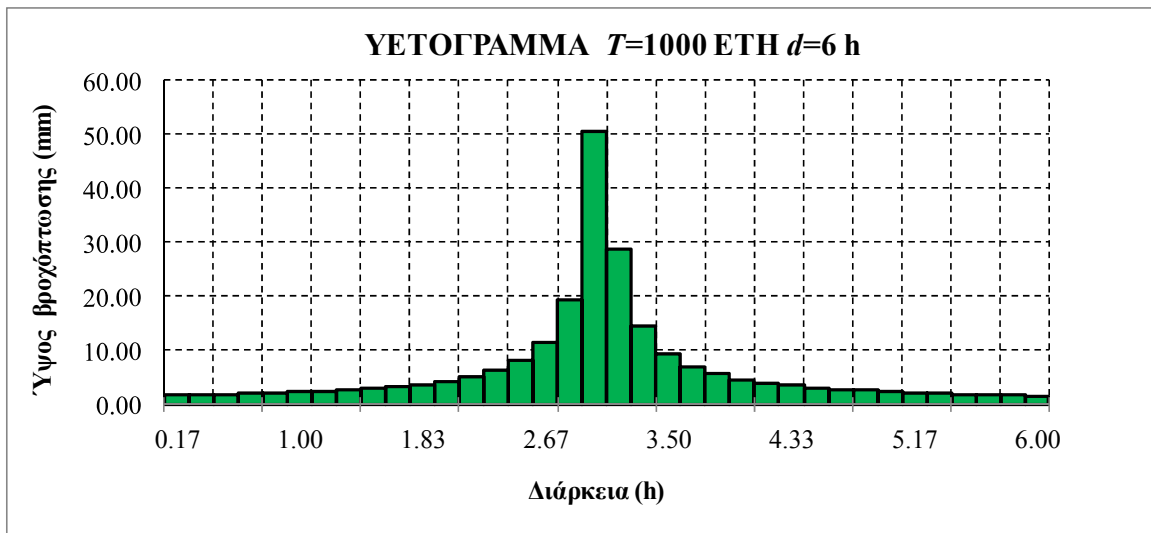
Σχήμα 5.17: Υετόγραμμα για $T = 25$ και $d = 6$ h.



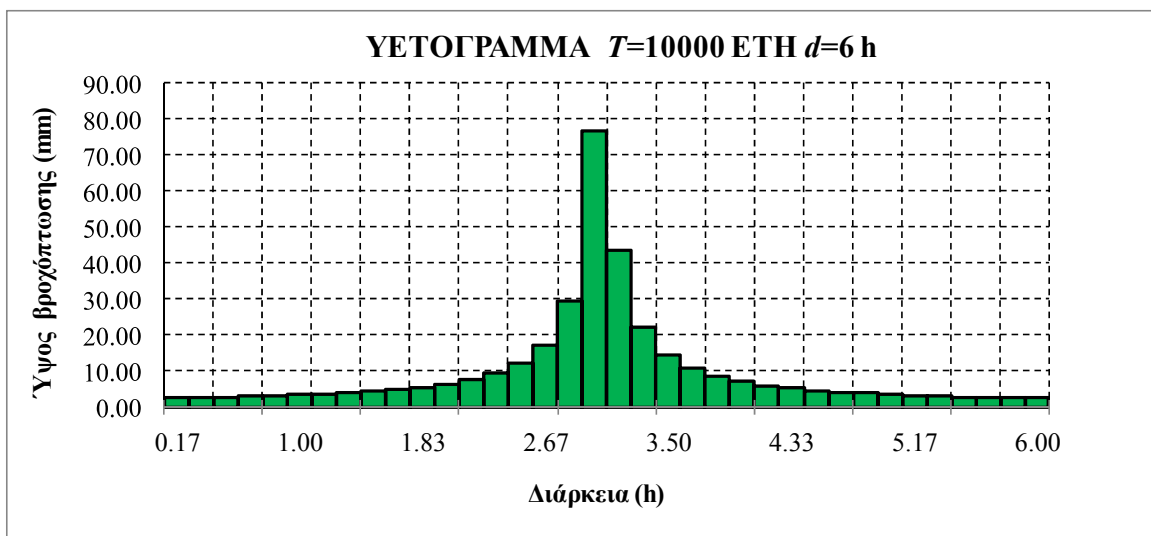
Σχήμα 5.18: Υετόγραμμα για $T = 50$ και $d = 6$ h.



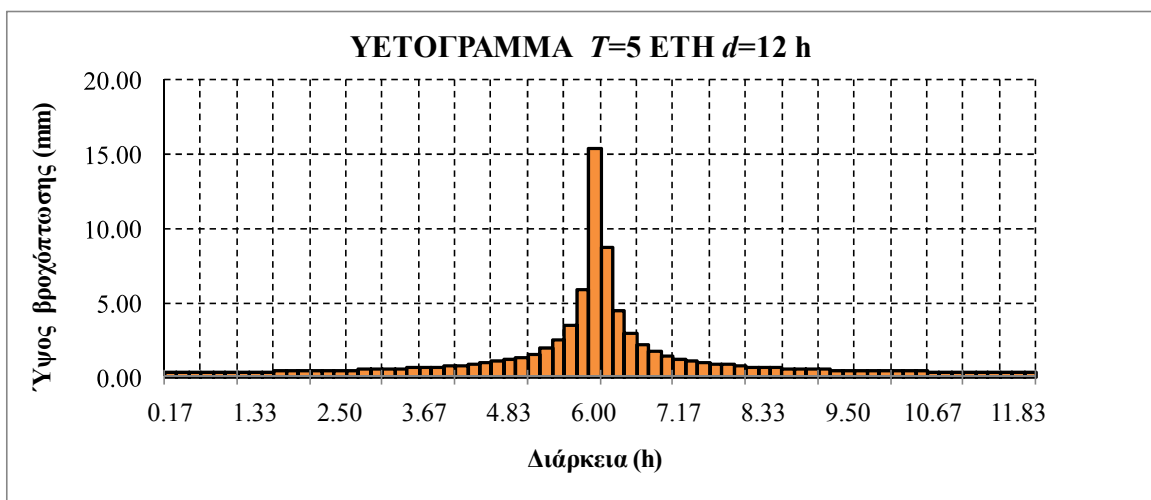
Σχήμα 5.19: Υετόγραμμα για $T = 100$ και $d = 6$ h.



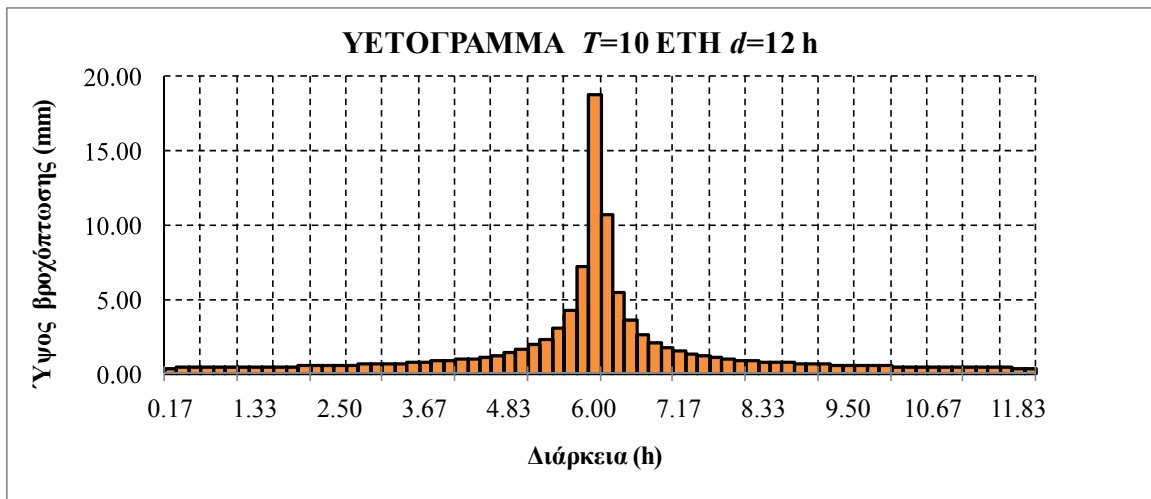
Σχήμα 5.20 Υετόγραμμα για $T = 1000$ και $d = 6$ h.



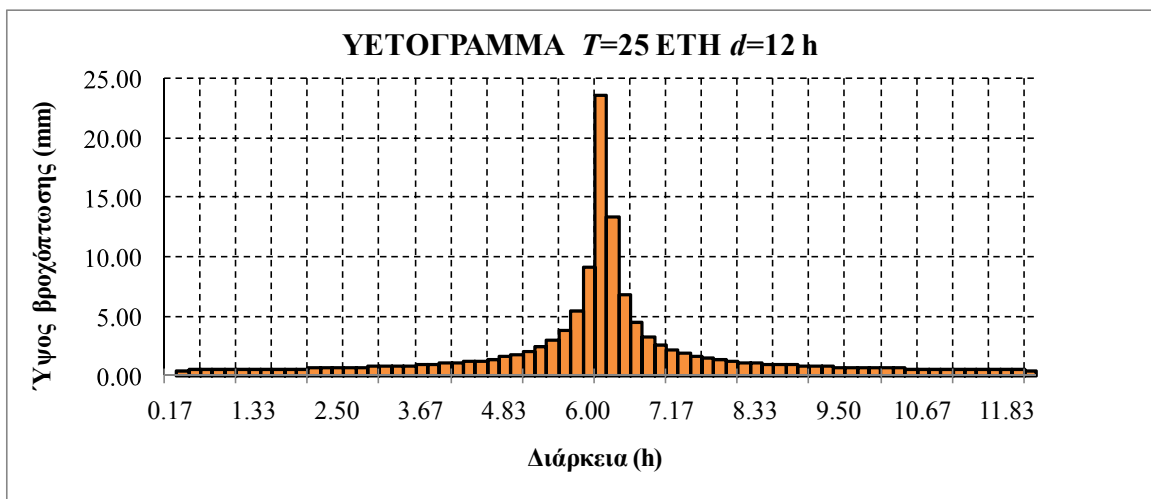
Σχήμα 5.21: Υετόγραμμα για $T = 10000$ και $d = 6$ h.



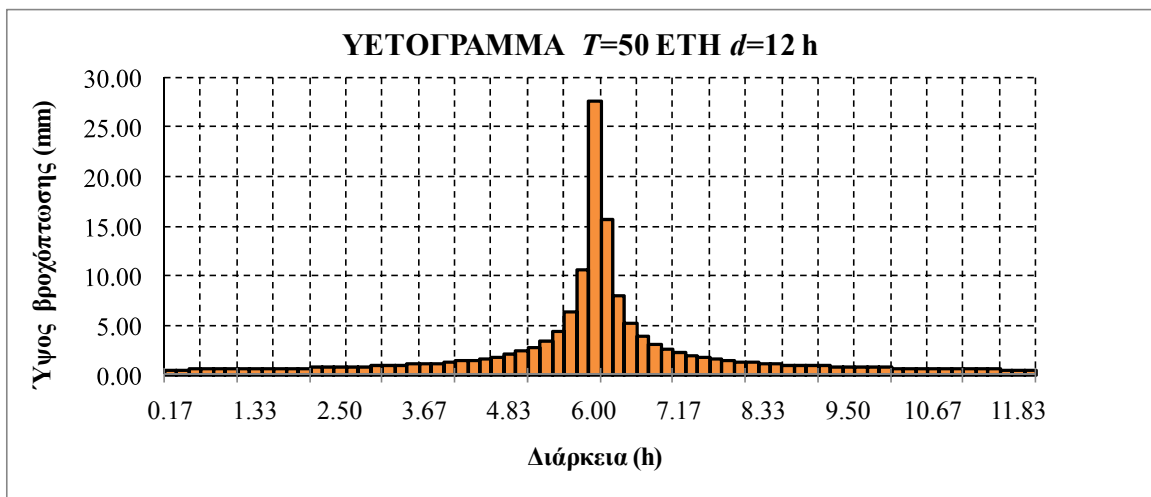
Σχήμα 5.22: Υετόγραμμα για $T = 5$ και $d = 12$ h.



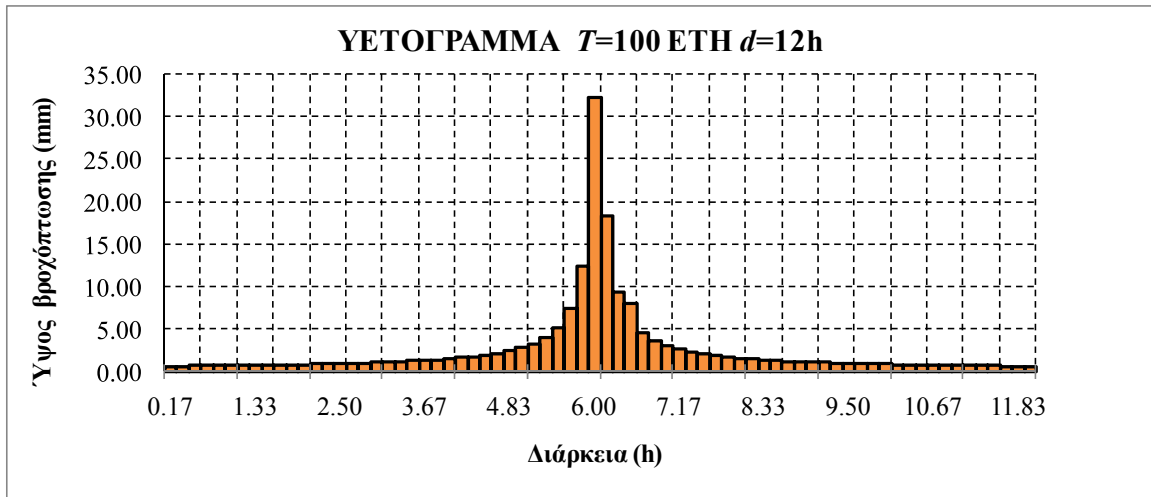
Σχήμα 5.23: Υετόγραμμα για $T = 10$ και $d = 12$ h.



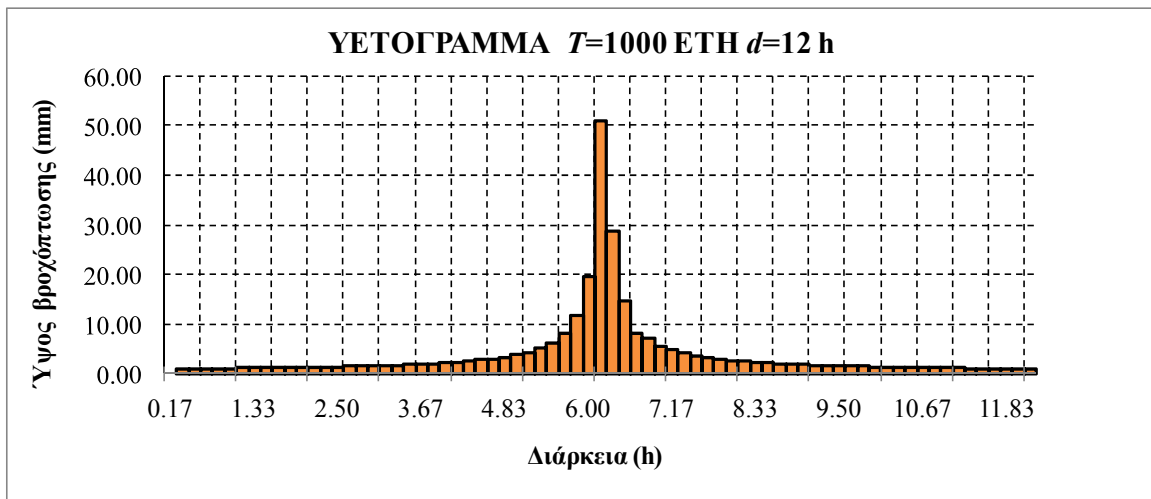
Σχήμα 5.24: Υετόγραμμα για $T = 25$ και $d = 12$ h.



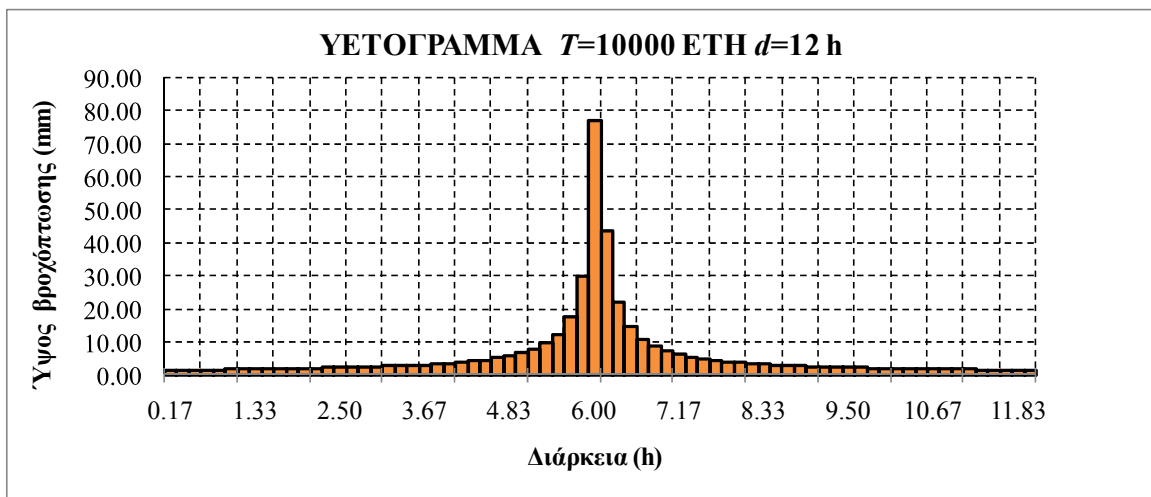
Σχήμα 5.25: Υετόγραμμα για $T = 50$ και $d = 12$ h.



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



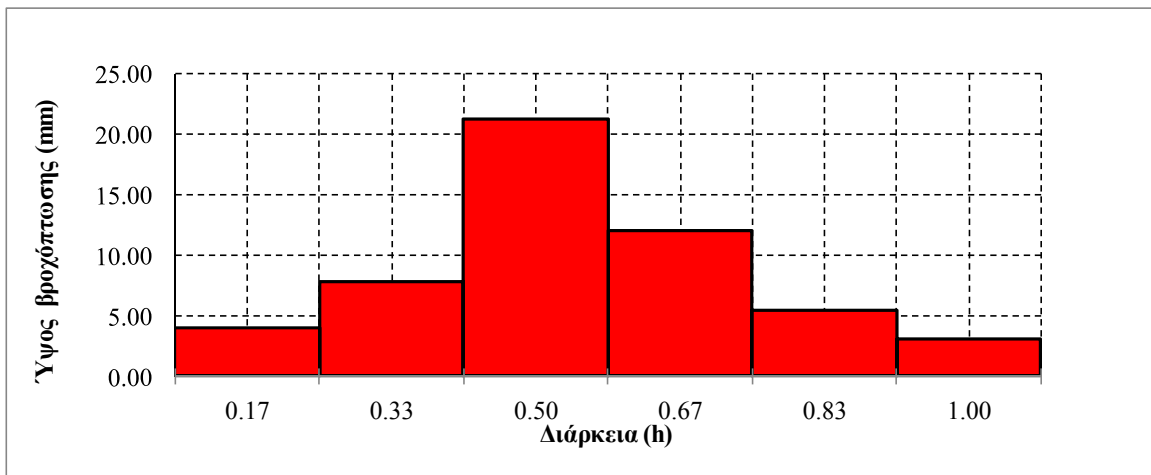
Σχήμα 5.27: Υετόγραμμα για $T = 1000$ και $d = 12$ h



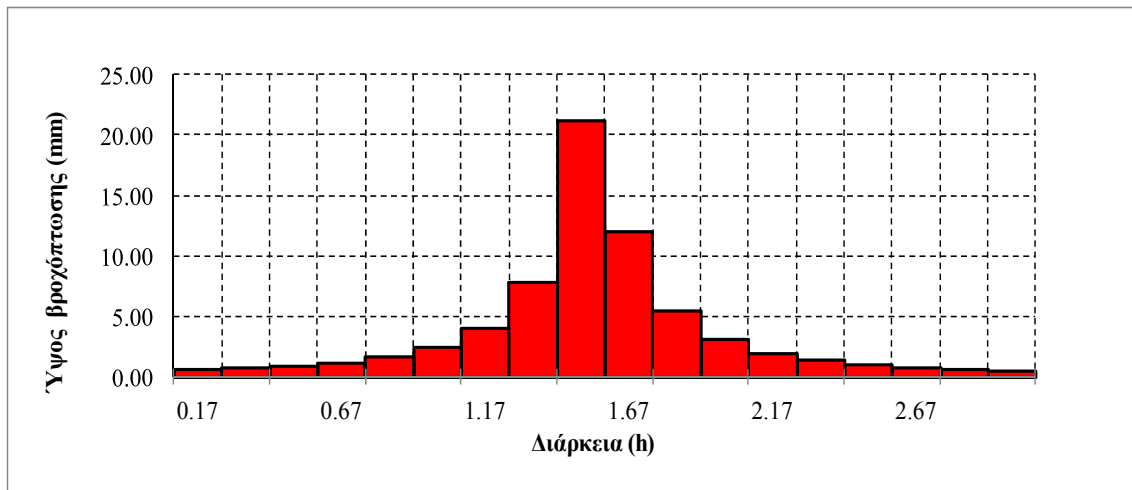
Σχήμα 5.28: Υετόγραμμα για $T = 10000$ και $d = 12$ h

Πέρα από τα παραπάνω υετογράμματα, που συντέθηκαν με βάση την ενιαία εξίσωση ομβρίων καμπυλών για τον νοτιοανατολικό μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, συντέθηκαν υετογράμματα και σύμφωνα με τη σχέση 4.1 που χρησιμοποιήθηκε

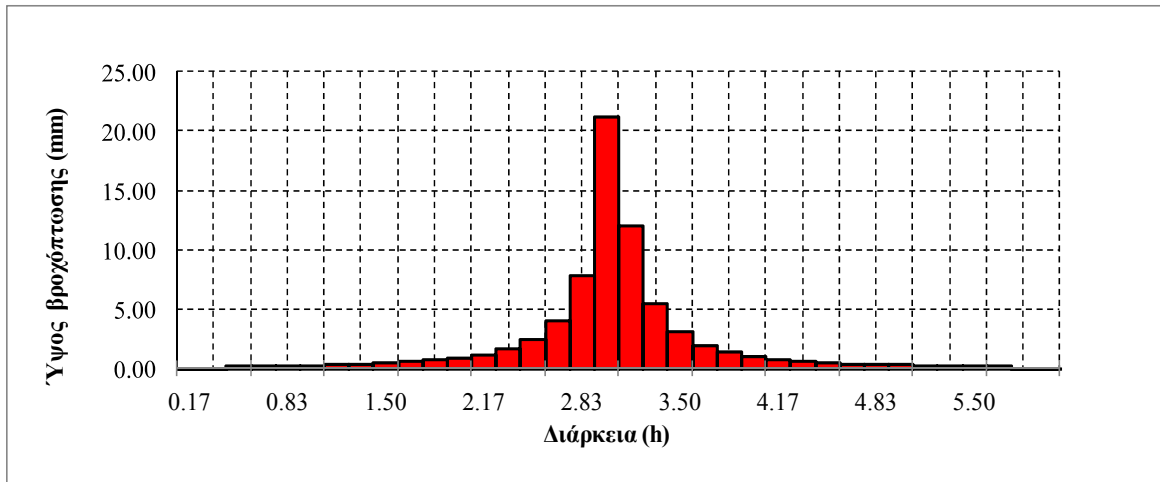
στη μελέτη για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 3, 6 και 12 ωρών. Να σημειωθεί ότι η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, αναφέρεται σε ευμενέστερη βροχόπτωση από ό, τι η αντίστοιχη όμβρια καμπύλη για 25 έτη όπως αυτή προκύπτει από τον μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Αυτό γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας τις αιχμές της βροχόπτωσης και της χρονικής κατανομής της. Έτσι, παρακάτω παρατίθενται σχηματικά τα υετογράμματα βροχόπτωσης που προέκυψαν από την όμβρια καμπύλη της μελέτης για περίοδο επαναφοράς 25 ετών και διάρκειες 1, 3, 6 και 12 ωρών για να συγκριθούν με το αντίστοιχα υετογράμματα που προέκυψαν με βάση τον μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου για $T = 25$ και για τις ίδιες διάρκειες.



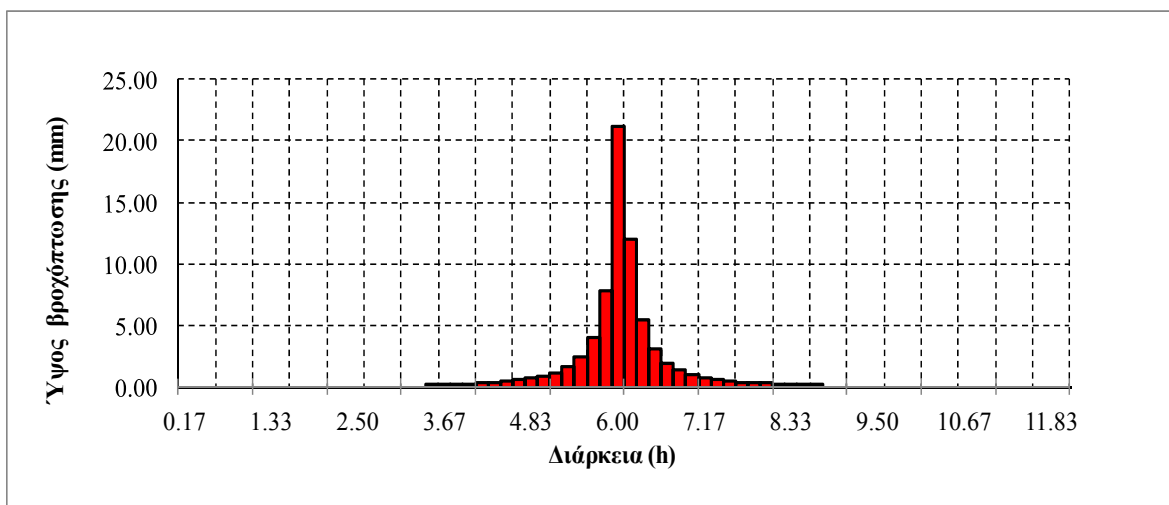
Σχήμα 5.29: Υετόγραμμα μελέτης για $T = 25$ και $d = 1$ h.



Σχήμα 5.30: Υετόγραμμα μελέτης για $T = 25$ και $d = 3$ h



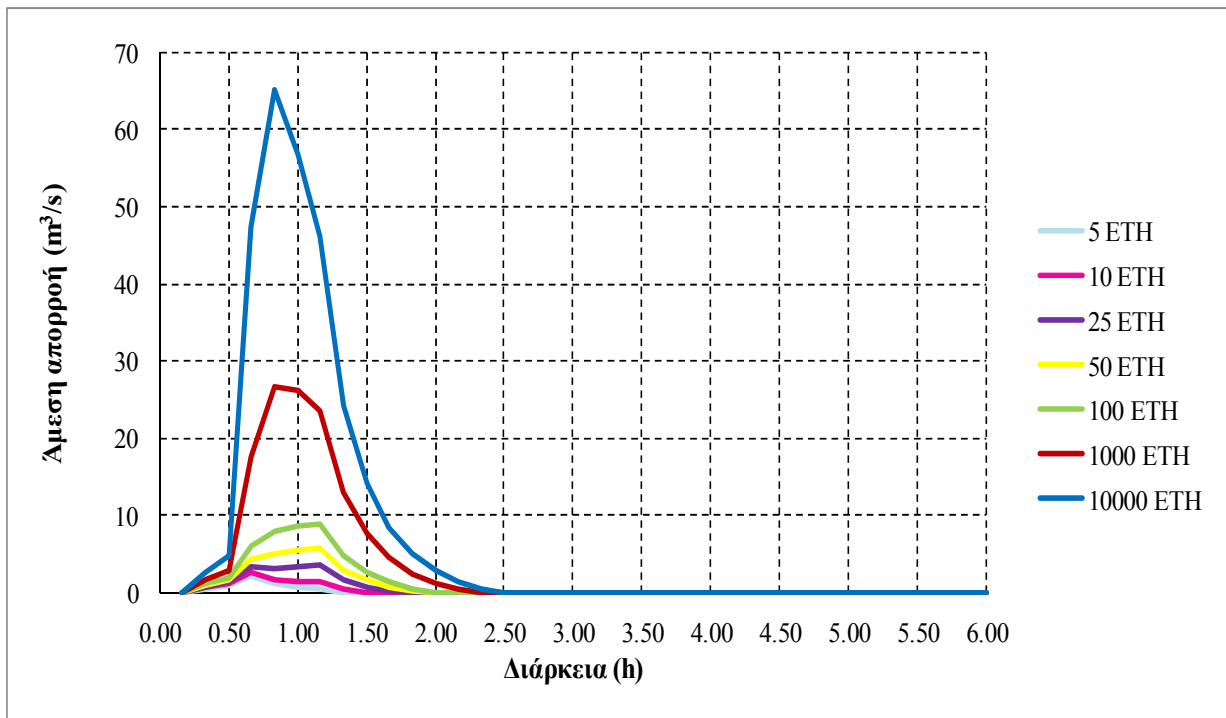
Σχήμα 5.31: Υετόγραμμα μελέτης για $T = 25$ και $d = 6$ h.



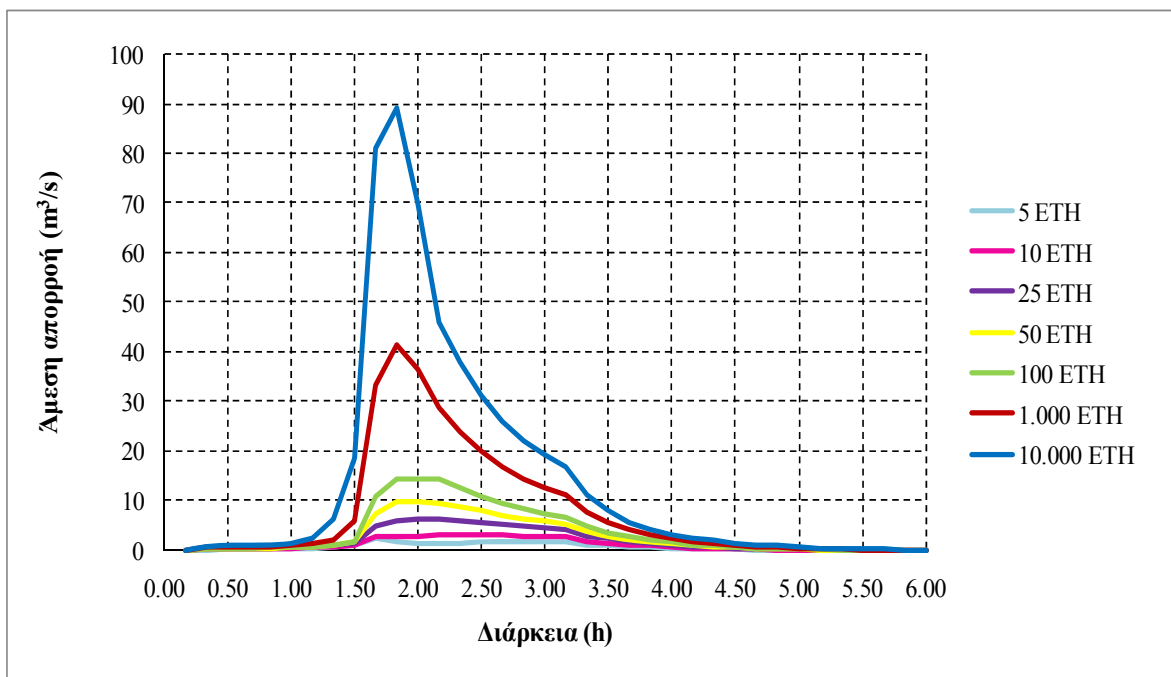
Σχήμα 5.32: Υετόγραμμα μελέτης για $T = 25$ και $d = 12$ h.

5.2 Περίπτωση με τη λεκάνη υπό απολύτως φυσικές συνθήκες (Περίπτωση I)

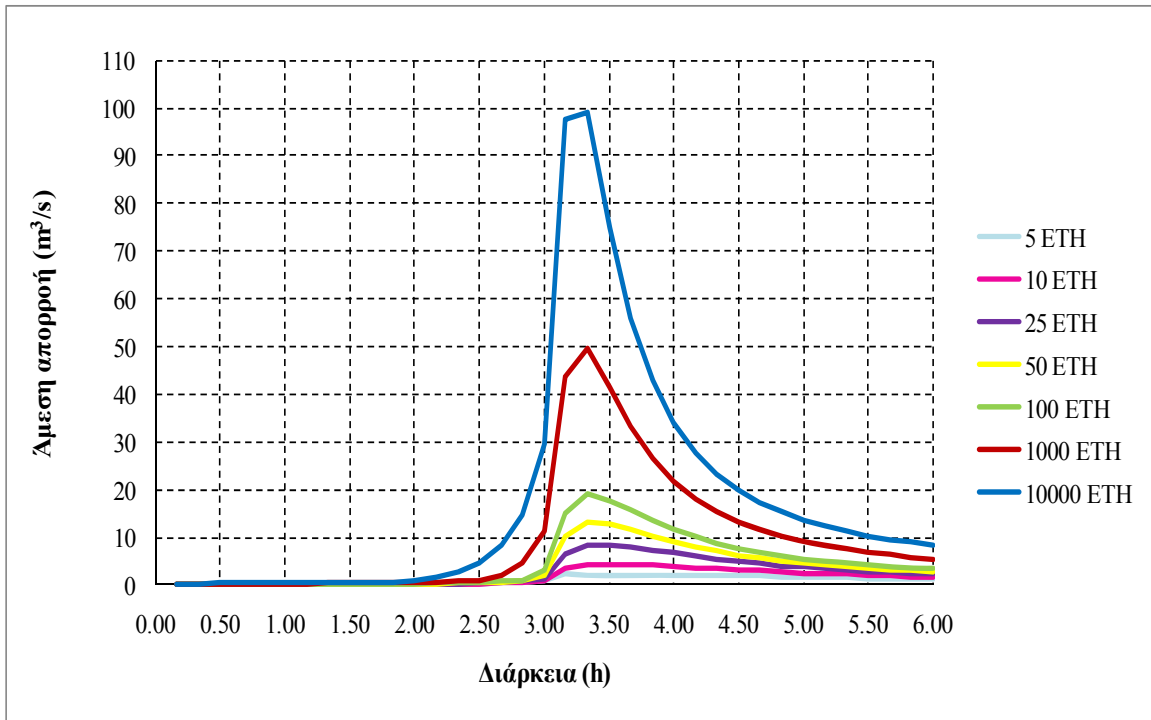
Πριν την εισαγωγή του αποχετευτικού συστήματος στην υπό μελέτη λεκάνη, θα δούμε τη συμπεριφορά της σε απολύτως φυσικές συνθήκες, δηλαδή σε συνθήκες προ της αστικοποίησης. Το κύριο εξαγόμενο για την μη αστική λεκάνη είναι τα υδρογραφήματα στο σημείο εκβολής της λεκάνης. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα άμεσης απορροής της μη αστικής λεκάνης, για όλες τις διάρκειες και όλες τις περιόδους επαναφοράς, ενώ στο Παράρτημα 2 δίνονται σε πίνακες οι τεταγμένες τους. Να σημειωθεί ότι το λογισμικό του SWMM παρέχει τη δυνατότητα εμφάνισης των τεταγμένων, των υδρογραφημάτων απορροής, με οποιοδήποτε χρονικό βήμα μέχρι και 1 s. Όμως, επιλέχθηκε χρονικό βήμα 10 λεπτών, για να υπάρχει αντιστοιχία με το χρονικό βήμα με το οποίο δημιουργήθηκαν τα υετογράμματα σχεδιασμού.



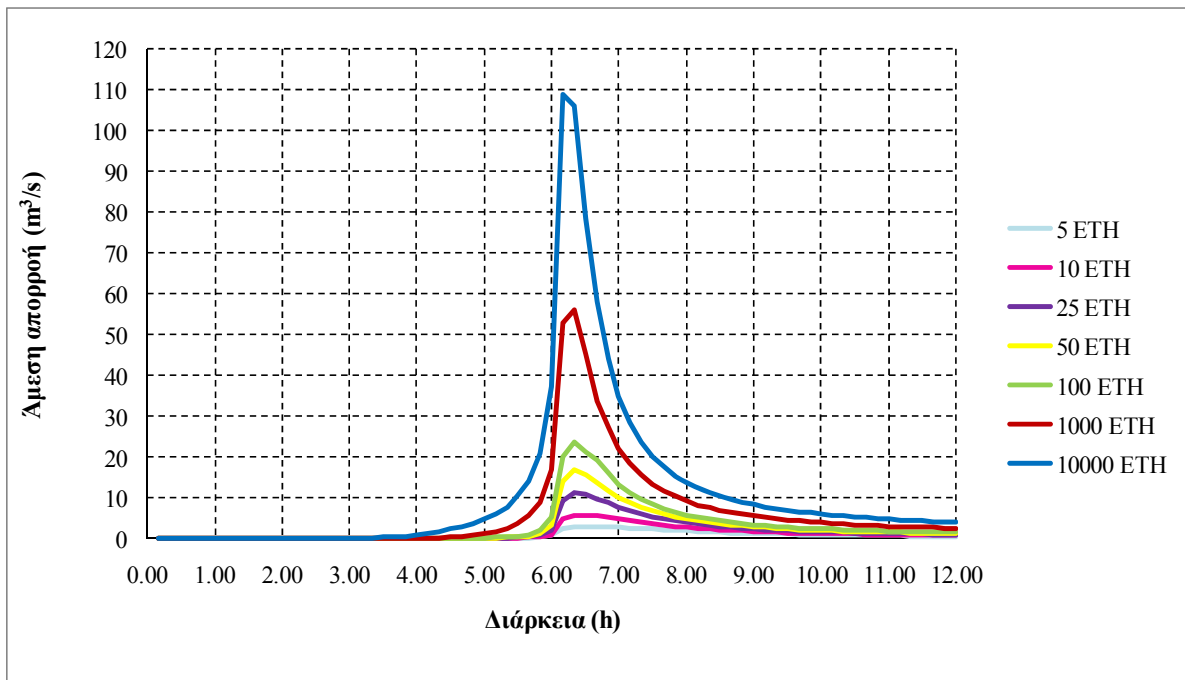
Σχήμα 5.33: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 1 ώρας στο σημείο εκβολής της μη αστικής λεκάνης.



Σχήμα 5.34: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 3 ωρών στο σημείο εκβολής της μη αστικής λεκάνης.



Σχήμα 5.35: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 6 ωρών στο σημείο εκβολής της μη αστικής λεκάνης.



Σχήμα 5.36: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής για βροχόπτωση 12 ωρών στο σημείο εκβολής της μη αστικής λεκάνης.

Μελετώντας τα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

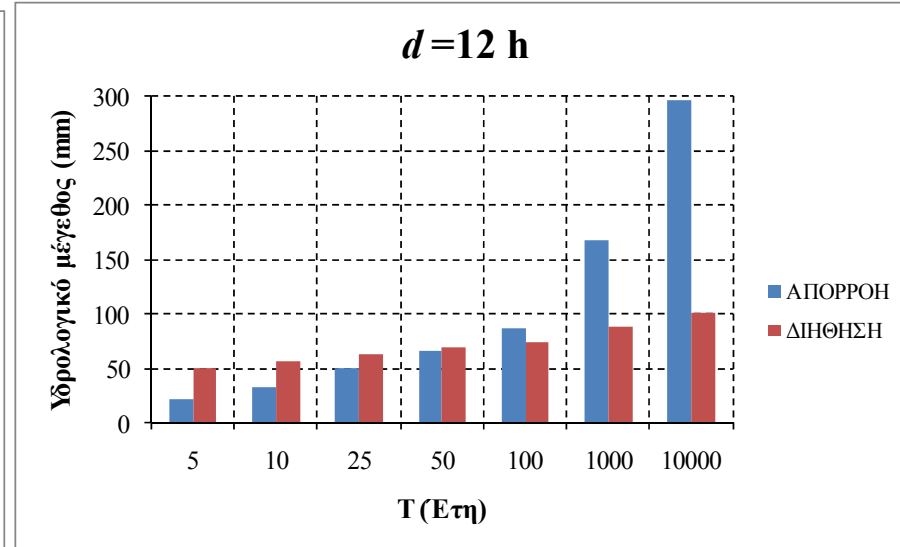
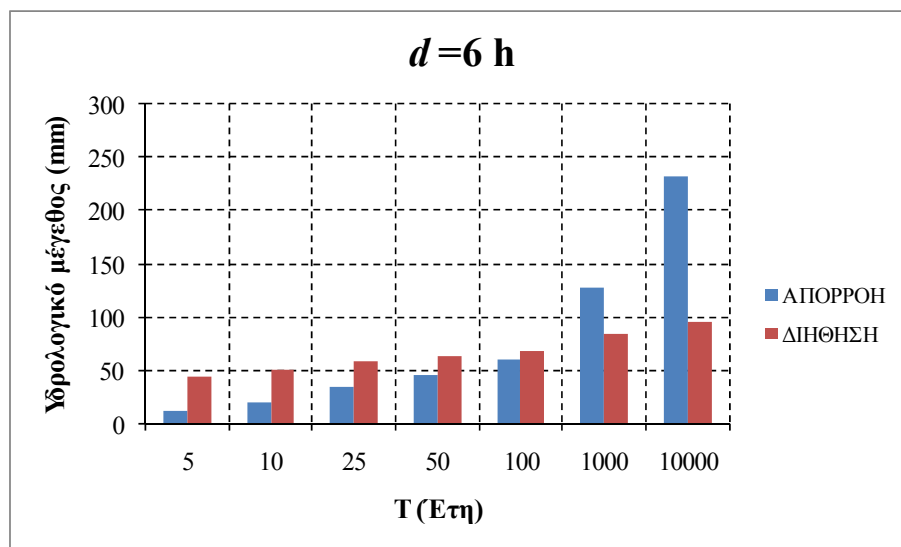
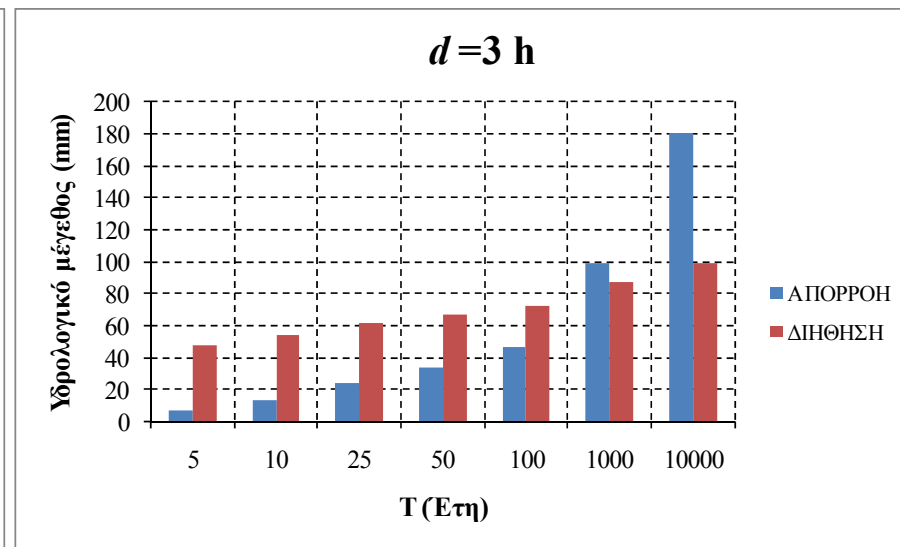
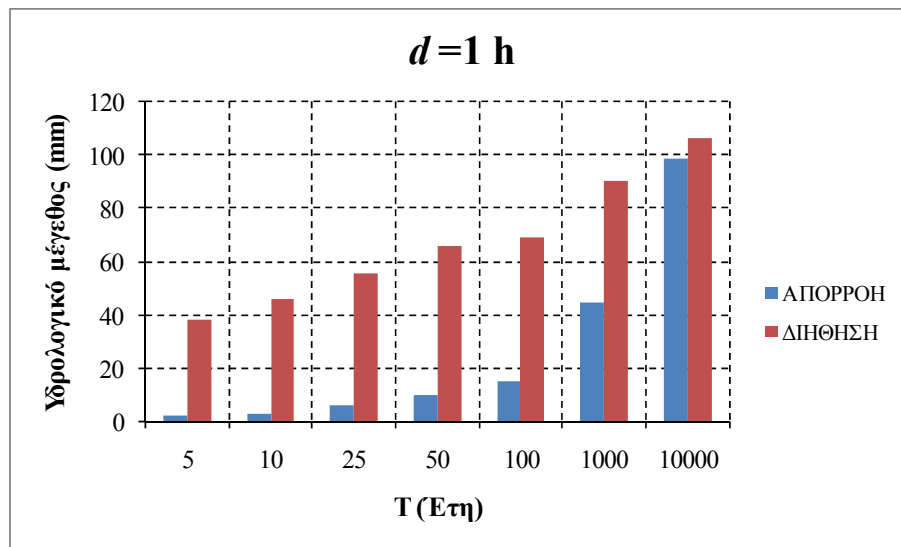
1. Για πλημμυρικά γεγονότα μέχρι και 25 ετών περιόδου επαναφοράς και διάρκειας 1 h, η αιχμή της πλημμύρας εμφανίζεται λίγο πριν την 1 h, το ίδιο ισχύει και για τα 1000 και 10000 έτη. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο για 50 και 100 έτη. Εκεί η αιχμή της απορροής σημειώνεται λίγο μετά την 1^η ώρα.

2. Για βροχές διάρκειας 6 και 12 ωρών η αιχμή της πλημμύρας εμφανίζεται περίπου στη μέση του πλημμυρικού γεγονότος δηλαδή μεταξύ 3^{ης} και 4^{ης} ώρας και μεταξύ 6^{ης} και 7^{ης} ώρας αντίστοιχα.
3. Για γεγονός βροχόπτωσης 3 ωρών η αιχμή της απορροής εμφανίζεται ύστερα από σχεδόν δύο ώρες από την έναρξη της βροχής, για όλα τα γεγονότα βροχόπτωσης.
4. Μέχρι και για $T = 50$ και για οποιαδήποτε διάρκεια βροχόπτωσης η μέγιστη παροχή είναι κάτω από 20 m³/s.
5. Για γεγονός βροχόπτωσης μιας ώρας ύστερα από 10000 χρόνια η παροχή πλησιάζει τα 65 m³/s, ενώ μέχρι και για $T=100$ οι μέγιστες παροχές είναι κάτω από 10 m³/s.
6. Για πλημμυρικά γεγονότα 6 και 12 ωρών και $T = 1000$, οι παροχές αιχμής προσεγγίζουν τα 50 και τα 55 m³/s αντίστοιχα, ενώ για τις ίδιες διάρκειες και $T = 10000$, οι μέγιστες παροχές σχεδόν διπλασιάζονται.

Στο σημείο αυτό θα δούμε με λεπτομέρεια τι συμβαίνει υδρολογικά με την μη αστική λεκάνη, καθώς μεταβάλλεται η περίοδος επαναφοράς και η διάρκεια της βροχόπτωσης. Το λογισμικό του SWMM, ύστερα από την εφαρμογή κάθε πλημμυρικού γεγονότος σε μια μη αστική λεκάνη εξάγει έναν συγκεντρωτικό πίνακα, στον οποίο εμφανίζονται οι τιμές των εξής υδρολογικών μεγεθών: (α) συνολική βροχόπτωση (β) συνολική απορροή (γ) συνολική διήθηση. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα παραπάνω υδρολογικά μεγέθη για διάφορες τιμές των T και d ενώ στο Σχήμα 5.37 φαίνεται γραφικά η μεταβολή της απορροής και της διήθησης με την πάροδο των ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 3, 6 και 12 h.

Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την εφαρμογή διαφόρων γεγονότων βροχόπτωσης σε μη αστική λεκάνη

<i>d</i> (h)		5	10	25	50	100	1000	10000
1	Συνολική βροχόπτωση (mm)	40.680	49.590	62.400	75.830	85.000	134.270	203.800
	Συνολική απορροή (mm)	2.051	3.118	6.188	10.048	15.131	44.788	98.637
	Συνολική διήθηση	38.472	46.170	55.779	65.927	69.040	90.205	106.440
3	Συνολική βροχόπτωση (mm)	58.310	71.070	89.470	104.820	123.740	190.910	285.580
	Συνολική απορροή (mm)	7.397	13.356	23.664	33.397	46.466	98.571	180.895
	Συνολική διήθηση	47.397	53.829	61.570	67.063	72.641	87.372	99.467
6	Συνολική βροχόπτωση (mm)	69.830	85.240	107.280	125.730	146.140	230.900	350.470
	Συνολική απορροή (mm)	12.846	21.017	34.389	46.650	61.122	127.816	231.802
	Συνολική διήθηση	44.560	50.719	58.209	63.354	68.632	83.848	96.423
12	Συνολική βροχόπτωση (mm)	82.410	100.520	126.150	148.260	174.230	270.630	413.240
	Συνολική απορροή (mm)	21.960	33.150	50.567	66.611	86.589	166.926	295.572
	Συνολική διήθηση	49.651	56.056	63.646	69.121	74.576	88.833	100.860



Σχήμα 5.37: Μεταβολή διήθησης και απορροής για διάφορα T και d .

Μελετώντας τα παραπάνω στοιχεία, παρατηρούμε τα εξής για την μη αστική λεκάνη:

1. Για γεγονός βροχόπτωσης διάρκειας 1 h, η απορροή εμφανίζεται μικρότερη από την διήθηση, για όλες τις περιόδους επαναφοράς. Επίσης βλέπουμε ότι για $T = 100$, η διήθηση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την απορροή ενώ για 1000 και 10000 χρόνια η διαφορά διήθησης και απορροής μειώνεται. Η μέγιστη τιμή της απορροής φτάνει σχεδόν τα 90 mm για 10000 χρόνια,.
2. Για βροχόπτωση διάρκειας 3 h, μέχρι και για $T = 100$, η διήθηση είναι μεγαλύτερη από την απορροή. Για τα 1000 χρόνια η ποσότητα της απορροής εμφανίζεται ελαφρώς μεγαλύτερη από την ποσότητα της διήθησης, ενώ πολύ μεγαλύτερη είναι η διαφορά για 10000 χρόνια. Για 10000 χρόνια η τιμή της απορροής είναι διπλάσια από ότι η αντίστοιχη τιμή για γεγονός βροχόπτωσης 1 h.
3. Για βροχόπτωση 6 h η διήθηση εμφανίζεται μεγαλύτερη από την απορροή μέχρι και για $T = 100$ έτη τιμή για την οποία τα δύο μεγέθη κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα. Για 1000 και 10000 έτη, η απορροή εμφανίζεται σημαντικά μεγαλύτερη από την διήθηση. Η μέγιστη τιμή της απορροής εμφανίζεται για 10000 χρόνια και είναι περίπου 230 mm .
4. Για βροχή διάρκειας 12 h, οι διαφορές διήθησης και απορροής είναι σχετικά μικρές για $25 < T < 100$ έτη. Για $T = 10000$, η τιμή της απορροής φτάνει τα 300 mm .
5. Για όλα τα γεγονότα βροχόπτωσης υπάρχει σταθερή αύξηση της ποσότητας που διηθείται, δε συμβαίνει το ίδιο όμως με την απορροή. Η απορροή μεταβάλλεται μη γραμμικά με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας.
6. Ύστερα από 10000 χρόνια, ανεξαρτήτως διάρκειας η τιμή της διήθησης έχει σταθεροποιηθεί σχεδόν στα 100 mm.

5.3 Περίπτωση με το απλό αποχετευτικό δίκτυο (Περίπτωση II)

5.3.1 Γενικά

Σε πρώτη φάση, μοντελοποιήσαμε το αποχετευτικό δίκτυο, εισάγοντας στο πρόγραμμα όλα τα υδρολογικά και υδραυλικά στοιχεία της μελέτης. Αρχικά, λοιπόν το σύστημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά σε γεγονότα βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς μέχρι και 25 ετών. Οι αγωγοί διαστασιολογήθηκαν από το μελετητικό γραφείο με την ορθολογική μέθοδο, ώστε να ανταποκρίνονται σε γεγονότα βροχόπτωσης των οποίων η ένταση προσδιορίζεται από όμβρια καμπύλη μετεωρολογικού σταθμού, στην περιοχή της Ελευσίνας. Εμείς εφαρμόσαμε αρχικά αυτήν την όμβρια για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης προκειμένου να ελέγξουμε την ορθότητα των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Αφού επιβεβαιώσαμε την ορθότητα των αποτελεσμάτων, προχωρήσαμε στην εφαρμογή των ομβρίων καμπύλων που προέκυψαν με βάση την εξίσωση 2.11 για διάφορα T , d . Βέβαια, σε γεγονότα βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς μεγαλύτερης των 25 ετών, το υπάρχον δίκτυο αναμένεται να υπερπληρωθεί είτε τμηματικά είτε ολικά. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα δεν θα είναι ικανό να πραγματοποιεί υδραυλική διόδευση ωστόσο είναι εφικτός ο υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών από το λογισμικό του SWMM.

Για την πραγματοποίηση υδραυλικής διόδευσης και για μεγάλα γεγονότα βροχόπτωσης, δημιουργήσαμε το πολυπλοκότερο δυαδικό αποχετευτικό δίκτυο του οποίου τα αποτελέσματα θα μελετήσουμε παρακάτω. Προφανώς, το δυαδικό σύστημα προσομοιώνει καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες, άρα και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του είναι

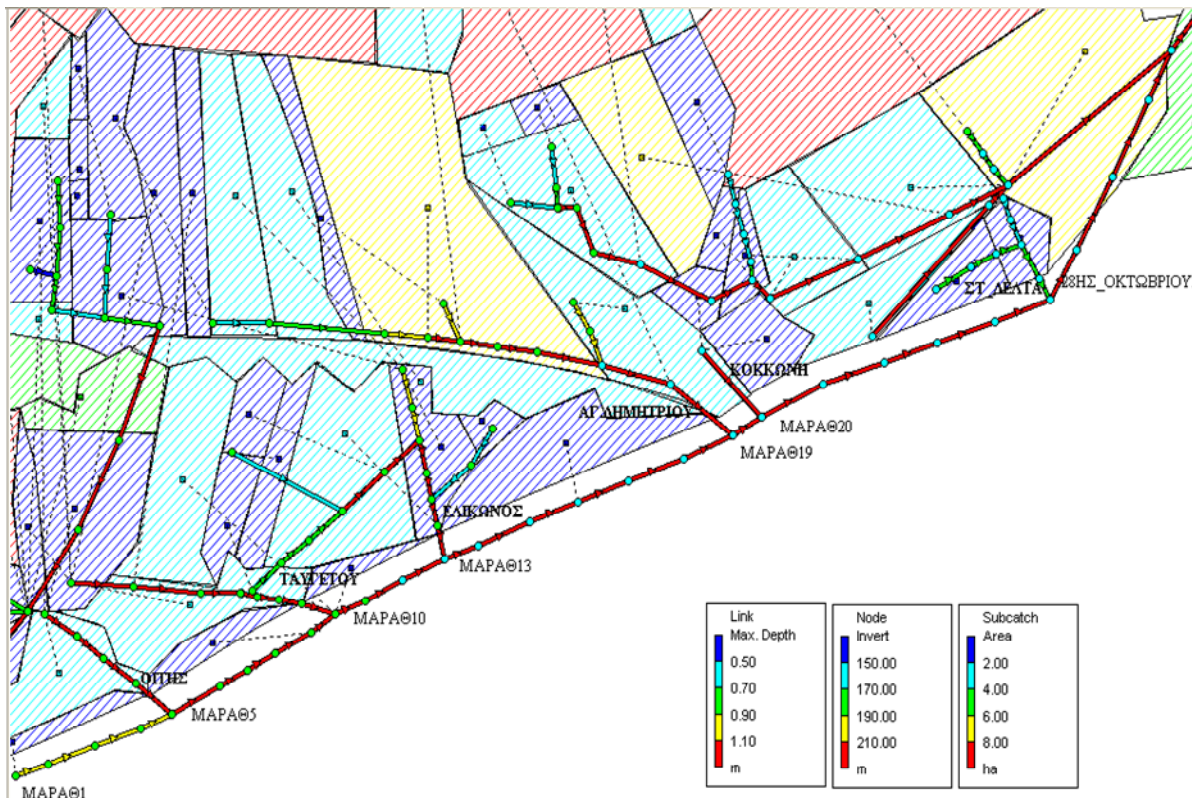
ορθότερα. Ωστόσο, προκειμένου να παρακολουθήσουμε και τη λειτουργία του απλού (υπογείου) αποχετευτικού δικτύου, παραθέτουμε κάποια αποτελέσματα από την εφαρμογή πλημμυρικών γεγονότων, περιόδου επαναφοράς 25 και 50 ετών.

5.3.2 Σύγκριση παροχών ανά συμβολή στον βασικό συλλεκτήρα με εφαρμογή δύο διαφορετικών ομβρίων καμπύλων.

Στο σημείο αυτό, θα εξετάσουμε τα αποτελέσματα των παροχών ανά συμβολή στο βασικό συλλεκτήρα, ύστερα από την εφαρμογή δυο διαφορετικών ομβρίων καμπύλων που όμως αναφέρονται σε κοινή περίοδο επαναφοράς 25 ετών. Με βάση τις δυο όμβριες, θα εφαρμόσουμε γεγονότα βροχόπτωσης 1 h, 3 h, 6 h και 12 h, δηλαδή θα παρακολουθήσουμε 2 (όμβριες καμπύλες) x 4 (διάρκειες) = 8 διαφορετικά πλημμυρικά φαινόμενα. Ο βασικός συλλεκτήρας του οποίου θα μελετήσουμε τις παροχές, κείται κατά ένα μεγάλο μέρος επί της οδού Μαραθωνοδρόμων και κατά ένα μικρότερο επί της 28^{ης} Οκτωβρίου και χωρίζεται με βάση τους αγωγούς συμβολής, σε 6 ευρύτερα τμήματα. Αυτό φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 5.2 και γραφικά στο Σχήμα 5.38.

Πίνακας 5.2: Επιμερισμός του βασικού συλλεκτήρα της οδού Μαραθωνοδρόμων με βάση τους αγωγούς συμβολής.

	Τμήμα 1	Τμήμα 2	Τμήμα 3	Τμήμα 4	Τμήμα 5	Τμήμα 6
A	ΜΑΡΑΘ1	ΜΑΡΑΘ5	ΜΑΡΑΘ10	ΜΑΡΑΘ13	ΜΑΡΑΘ19	ΜΑΡΑΘ20
Γ	ΜΑΡΑΘ2	ΜΑΡΑΘ6	ΜΑΡΑΘ11	ΜΑΡΑΘ14		ΜΑΡΑΘ21
Ω	ΜΑΡΑΘ3	ΜΑΡΑΘ7	ΜΑΡΑΘ12	ΜΑΡΑΘ15		ΜΑΡΑΘ22
Γ	ΜΑΡΑΘ4	ΜΑΡΑΘ8		ΜΑΡΑΘ16		ΜΑΡΑΘ23
Ο		ΜΑΡΑΘ9		ΜΑΡΑΘ17		ΜΑΡΑΘ24
I				ΜΑΡΑΘ18		
ΑΓΩΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ	ΟΙΤΗΣ	ΤΑΥΓΕΤΟΥ	ΕΛΙΚΩΝΟΣ	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	ΚΟΚΚΩΝΗ	ΣΤΕΦ.ΔΕΛΤΑ



Σχήμα 5.38: Αναπαράσταση του βασικού συλλεκτήρα και των συμβολών του με τους δευτερεύοντες αγωγούς.

Να διευκρινίσουμε ότι, σε κάθε περίπτωση, ο αγωγός συμβολής διασταυρώνεται με τον τελευταίο αγωγό του κάθε τμήματος και η νέα παροχή εμφανίζεται στον αμέσως επόμενο αγωγό του βασικού συλλεκτήρα. Αυτό γίνεται κατανοητό με το εξής παράδειγμα. Ο αγωγός της οδού Οίτης συμβάλλει με τον αγωγό ΜΑΡΑΘ4 και η νέα παροχή που προκύπτει από την συμβολή τους εμφανίζεται στον ΜΑΡΑΘ5, ενώ ο αγωγός της οδού Ταυγέτου συμβάλλει με τον ΜΑΡΑΘ9 και η νέα παροχή εμφανίζεται στον ΜΑΡΑΘ10 κ. ο. κ. Επίσης, να σημειωθεί ότι ο αγωγός ΜΑΡΑΘ24, είναι ο τελευταίος αγωγός του βασικού συλλεκτήρα της Λ. Μαραθωνοδρόμων, έπειτα ακολουθεί ο 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ1 (από εδώ και μέχρι την εκβολή στον Ποδονίφτη, ο βασικός συλλεκτήρας κείται επί της οδού 28^{ΗΣ} Οκτωβρίου).

Όπως προαναφέραμε, η όμβρια καμπύλη που προέκυψε από τον μετεωρολογικό σταθμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, αναπαριστά δυσμενέστερη βροχόπτωση από ότι η όμβρια της μελέτης για το ίδιο T . Συνεπώς, αναμένουμε μεγαλύτερες τιμές των παροχών με την εφαρμογή της πρώτης. Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές που εμφανίζονται εκεί όπου συμβάλλει ο βασικός συλλεκτήρας με τους δευτερεύοντες αγωγούς (συμβολής) για γεγονότα βροχόπτωσης 1, 3, 6, 12 ωρών και για $T = 25$ έτη, με την εφαρμογή των δύο παραπάνω ομβρίων καμπύλων.

Πίνακας 5.3: Σύγκριση παροχών αιχμής βασικού συλλεκτήρα που παρήχθη με την όμβρια καμπύλη της μελέτης και την όμβρια μετεωρολογικού σταθμού Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου για περίοδο επαναφοράς 25 ετών.

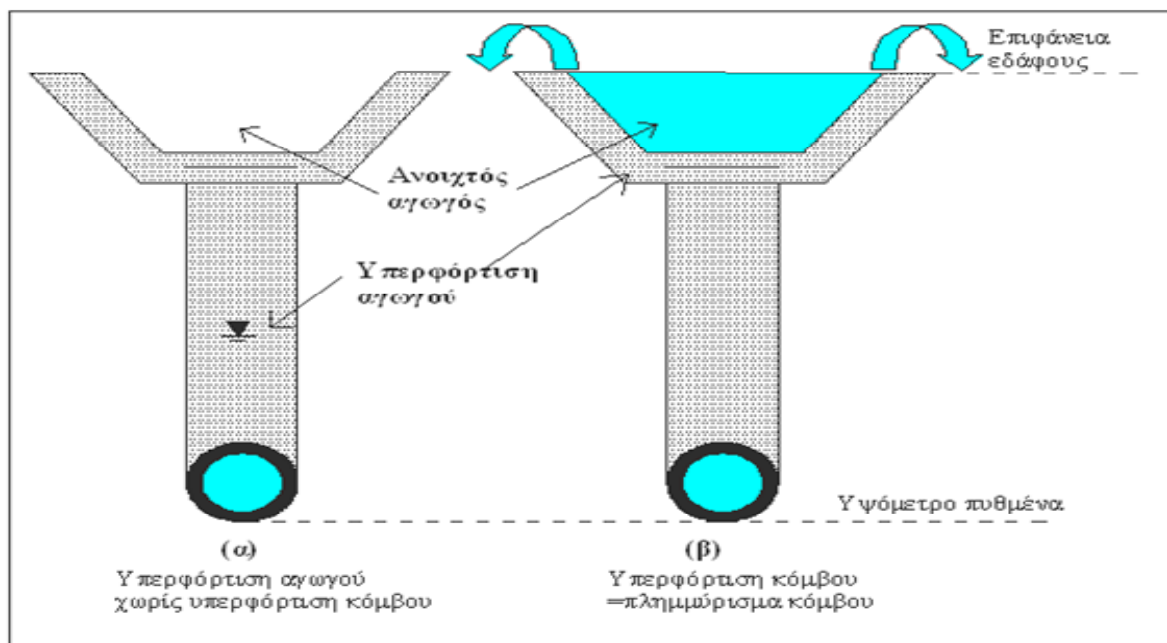
Αγωγός	Όμβρια καμπύλη μελέτης	Όμβρια καμπύλη μετεωρολογικού Σταθμού Ζωγράφου	Ποσοστιαία αύξηση παροχής (%)
	Μέγιστη παροχή (m ³ /s)	Μέγιστη παροχή (m ³ /s)	
	1 h		
ΜΑΡΑΘ5	2.562	2.740	6.95
ΜΑΡΑΘ10	12.001	13.217	10.13
ΜΑΡΑΘ13	14.289	15.834	10.81
ΜΑΡΑΘ19	20.647	22.808	10.47
ΜΑΡΑΘ20	20.915	23.125	10.57
ΜΑΡΑΘ24	20.903	23.120	10.61
	3 h		
ΜΑΡΑΘ5	2.580	3.071	19.03
ΜΑΡΑΘ10	12.014	14.079	17.19
ΜΑΡΑΘ13	14.357	16.956	18.10
ΜΑΡΑΘ19	20.747	24.489	18.04
ΜΑΡΑΘ20	21.017	24.786	17.93
ΜΑΡΑΘ24	21.006	24.744	17.79
	6 h		
ΜΑΡΑΘ5	2.617	3.454	31.98
ΜΑΡΑΘ10	12.174	14.220	16.81
ΜΑΡΑΘ13	14.543	17.487	20.24
ΜΑΡΑΘ19	20.937	25.322	20.94
ΜΑΡΑΘ20	21.209	25.686	21.11
ΜΑΡΑΘ24	21.200	25.672	21.09
	12 h		
ΜΑΡΑΘ5	2.643	3.852	45.74
ΜΑΡΑΘ10	12.295	14.727	19.78
ΜΑΡΑΘ13	14.682	18.384	25.21
ΜΑΡΑΘ19	21.074	25.885	22.83
ΜΑΡΑΘ20	21.346	26.266	23.05
ΜΑΡΑΘ24	21.340	26.257	23.04

Μελετώντας τον Πίνακα 5.3 παρατηρούμε αρχικά, ότι οι παροχές αιχμής στον βασικό συλλεκτήρα και από τις δύο όμβριες, αυξάνονται πλησιάζοντας προς τον Ποδονίφτη, φαινόμενο λογικό αφού στην αρχική παροχή προστίθενται συνέχεια παροχές από τις νέες αποχετευόμενες λεκάνες. Παρατηρούμε ότι για γεγονότα βροχόπτωσης 1 h και 3 h, οι παροχές αιχμής που προέρχονται από εφαρμογή της όμβριας Ζωγράφου είναι κατά περίπου 10% και 18% αντίστοιχα, μεγαλύτερες σε όλα τα τμήματα του βασικού συλλεκτήρα. Όταν όμως αυξάνεται η διάρκεια της βροχόπτωσης, οι παροχές αιχμής εμφανίζουν ανομοιομορφία

αύξηση κατά μήκος του βασικού συλλεκτήρα. Βλέπουμε ότι ύστερα από βροχόπτωση διάρκειας 6 ωρών, το τμήμα ΜΑΡΑΘ5 εμφανίζει σχεδόν 32% μεγαλύτερη παροχή αιχμής σε σχέση με την παροχή αιχμής της όμβριας καμπύλης της μελέτης. Ωστόσο, στο υπόλοιπο τμήμα, από τη συμβολή με την οδό Ταυγέτου μέχρι και την αρχή της 28^{ης} Οκτωβρίου, οι παροχές αιχμής από εφαρμογή της όμβριας Ζωγράφου εμφανίζονται σταθερά κατά περίπου 20% αυξημένες. Εντύπωση μας προκαλεί πως μετά από βροχή 12 ωρών η παροχή αιχμής στο τμήμα ΜΑΡΑΘ_5 εμφανίζεται κατά 45.74% αυξημένη με την εφαρμογή της όμβριας Ζωγράφου. Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι με εφαρμογή της όμβριας του μετεωρολογικού σταθμού Ζωγράφου, αναμένουμε την πλήρωση των αγωγών του αποχετευτικού δικτύου για $T < 25$, αφού αυτοί σχεδιάστηκαν ώστε να ανταποκρίνονται ικανοποιητικά για βροχές με βάση την όμβρια καμπύλη της μελέτης.

5.3.3 Εφαρμογή βροχοπτώσεων μεγάλης περιόδου επαναφοράς στο απλό αποχετευτικό δίκτυο

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα εφαρμόσουμε στο απλό αποχετευτικό δίκτυο, βροχή που αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη από αυτήν για την οποία έχει σχεδιαστεί. Συνεπώς, αναμένουμε υπερφόρτιση κάποιων αγωγών και υπερφόρτιση και υπερχειλίση κάποιων φρεατίων. Πριν την εφαρμογή όμως αυτή, καθίσταται σκόπιμο να διευκρινίσουμε τι σημαίνουν οι παραπάνω υδραυλικές έννοιες για το λογισμικό του SWMM. Λέγοντας υπερφόρτιση ενός αγωγού αναφερόμαστε στην κατάσταση κατά την οποία αυτός γεμίζει πλήρως και από αγωγός με ελεύθερη επιφάνεια γίνεται αγωγός υπό πίεση. Υπερφόρτιση ενός κόμβου παρουσιάζεται όταν το νερό φτάνει ακριβώς πάνω από την 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 ταυτόχρονα. Για την αποσαφήνιση των εννοιών αυτών δίνεται το σχήμα 5.39



Σχήμα 5.39: Παραδείγματα από υπερφορτίσεις και πλημμυρίσματα σε ανοιχτό αγωγό.

Είναι προφανές ότι για βροχή σχεδιασμού λίγο μεγαλύτερη των 25 ετών, κάποια φρεάτια του συστήματος θα πλημμυρίσουν ενώ αν η περίοδος επαναφοράς αυξηθεί σημαντικά ενδέχεται

να πλημμυρίσουν και όλα τα φρεάτια του συστήματος. Προκειμένου λοιπόν να αποφύγουμε την παρουσίαση μεγάλου όγκου αποτελεσμάτων που θα είναι δύσκολο να παρακολουθηθούν, θα εξετάσουμε την υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, δηλαδή για διπλάσια περίοδο από αυτήν για την οποία σχεδιάστηκε και διάρκεια 6 h. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν υπερφορτίσεις αγωγών και φρεατίων όπως εμφανίστηκαν στην κατάσταση αναφοράς (status report).

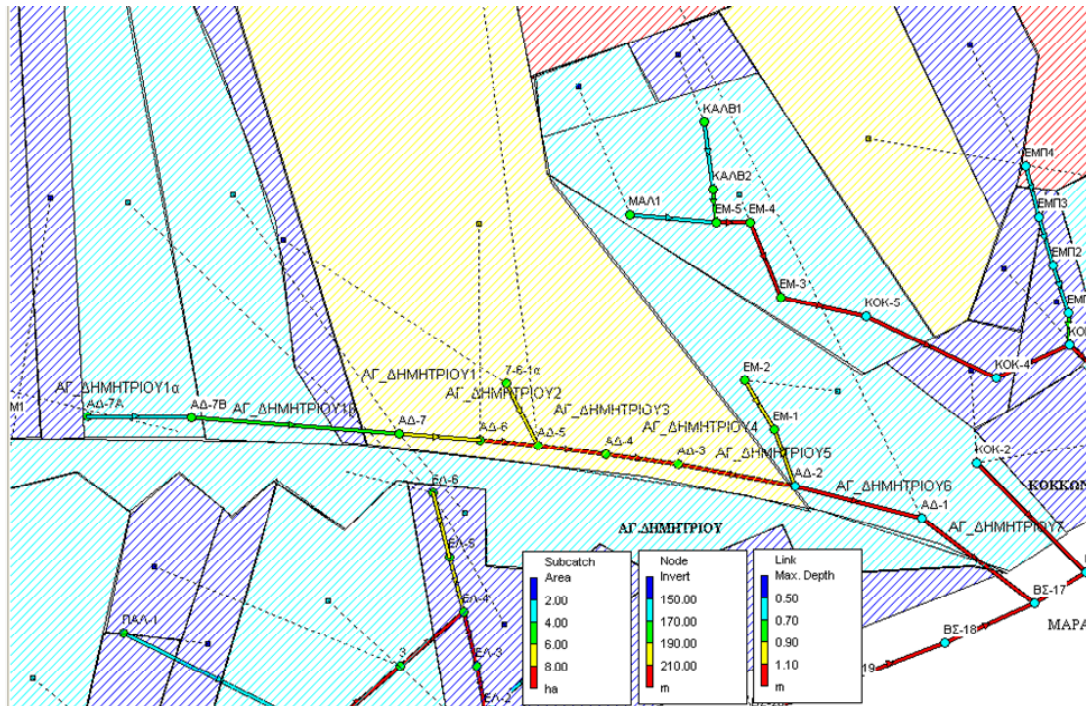
Πίνακας 5.4: Φρεάτια που πλημμύρισαν κατά την διάρκεια γεγονότος βροχόπτωσης $T = 50$ ετών και $d = 6$ h.

Κόμβος	Οδού	Ώρες πλημμυρίσματος (h)	Μέγιστος ρυθμός (m^3/s)	Χρονική στιγμή εμφάνισης μέγιστης στάθμης (h:min)	Συνολικός όγκος πλημμύρας (10^6 L)
ΑΔ-1	Αγ. Δημητρίου	0.17	3.340	3:10	1.343
ΑΔ-6	Αγ. Δημητρίου	0.06	0.516	3:10	0.077
ΒΠ-1	Βασ. Παύλου	0.12	0.278	3:10	0.079
ΒΠ-4	Βασ. Παύλου	0.26	0.551	3:10	0.244
ΒΣ-7	Μαραθωνοδρ.	0.13	2.854	3:11	0.734
ΔΛ-1	Στ. Δέλτα	0.80	0.537	3:12	0.924
ΔΛ-2	Στ. Δέλτα	0.12	0.108	3:10	0.030
ΔΛΑ-2	Στ. Δέλτα	0.28	0.943	3:07	0.462
ΔΛΑ-3	Στ. Δέλτα	0.06	0.395	3:10	0.059
ΚΟΚ-5	Κοκκώνη	0.11	0.331	3:10	0.083
ΟΤ-2	Οίτης	0.10	0.450	3:10	0.090
ΠΑΛ-1	Παλαμά	0.09	0.063	3:10	0.013
ΤΓ-4	Γαυγέτου	0.28	5.140	3:09	2.335
ΥΑΚ-2	Υακίνθων	0.26	1.544	3:11	0.666
ΧΑΟΥ1	Χάουλαντ	0.25	0.634	3:10	0.321

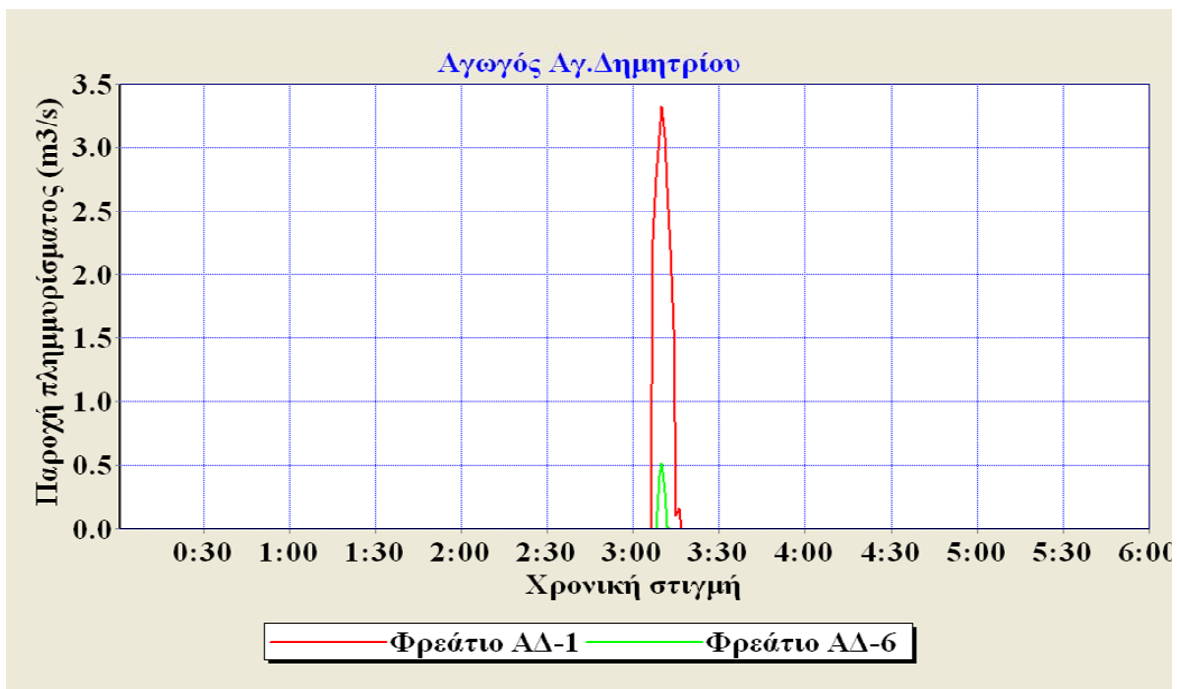
Πίνακας 5.5: Υπερφορτισμένοι αγωγοί με 100% ποσοστό πλήρωσης

Αγωγός	Συνδεόμενοι κόμβοι
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ7	ΑΔ-1 ΒΣ-17
Β_ΠΑΥΛΟΥ3	ΒΠ-4 ΒΠ-3
Β_ΠΑΥΛΟΥ6	ΒΠ-1 25ΗΣ_1
ΠΑΛΑΜΑ3	ΠΑΛ-1 4
Σ_ΔΕΛΤΑ1	ΔΛΑ-3 ΔΛΑ-2
Σ_ΔΕΛΤΑ6	ΔΛ-2 ΔΛ-1
Σ_ΔΕΛΤΑ7	ΔΛ-1 ΒΣ-11
ΥΑΚΙΝΘΩΝ7	ΥΑΚ-2 ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ1

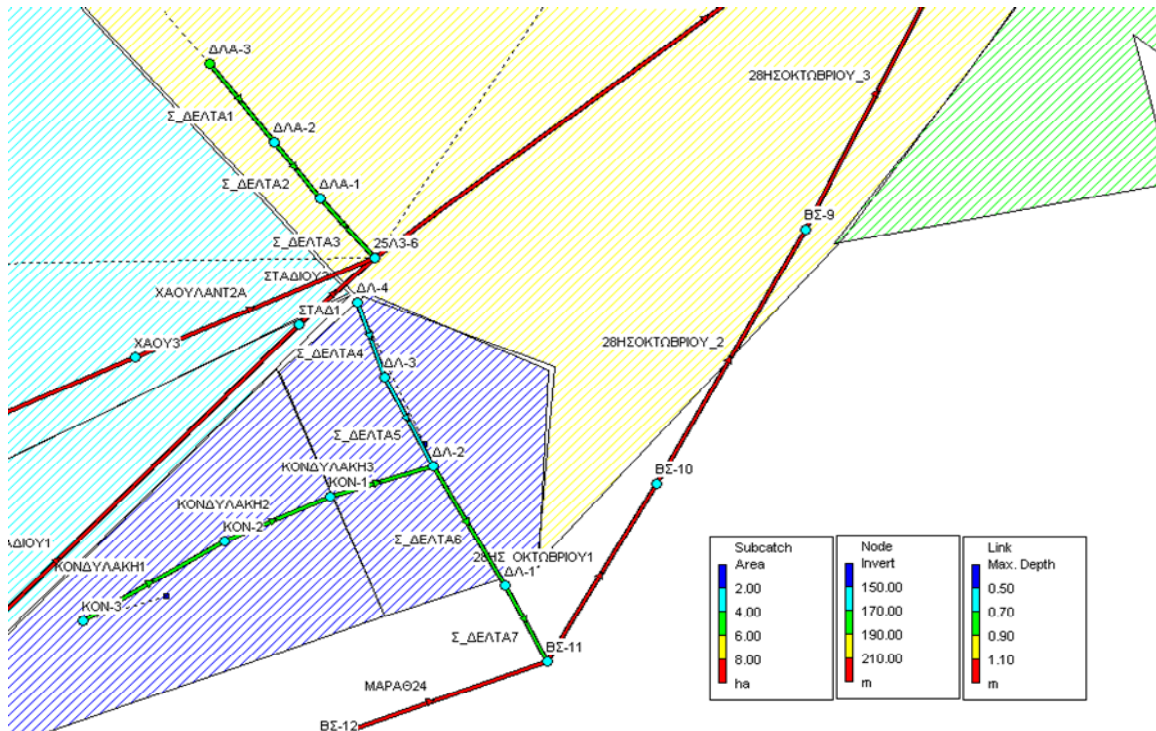
Το λογισμικό SWMM έχει παράλληλα την ικανότητα αναπαράστασης των αποτελεσμάτων διαφόρων υδραυλικών μεγεθών που αφορούν τα φρεάτια. Παρακάτω παραθέτουμε διαγράμματα που απεικονίζουν την διάρκεια και την αιχμή τους πλημμυρίσματος για κάποια από τα φρεάτια του Πίνακα 5.4. Για να κατανοήσουμε καλύτερα που βρίσκονται τα πλημμυρισμένα φρεάτια, κάτω από κάθε διάγραμμα δίνεται και η αναπαράσταση του αντίστοιχου αγωγού με όλα τα φρεάτια του.



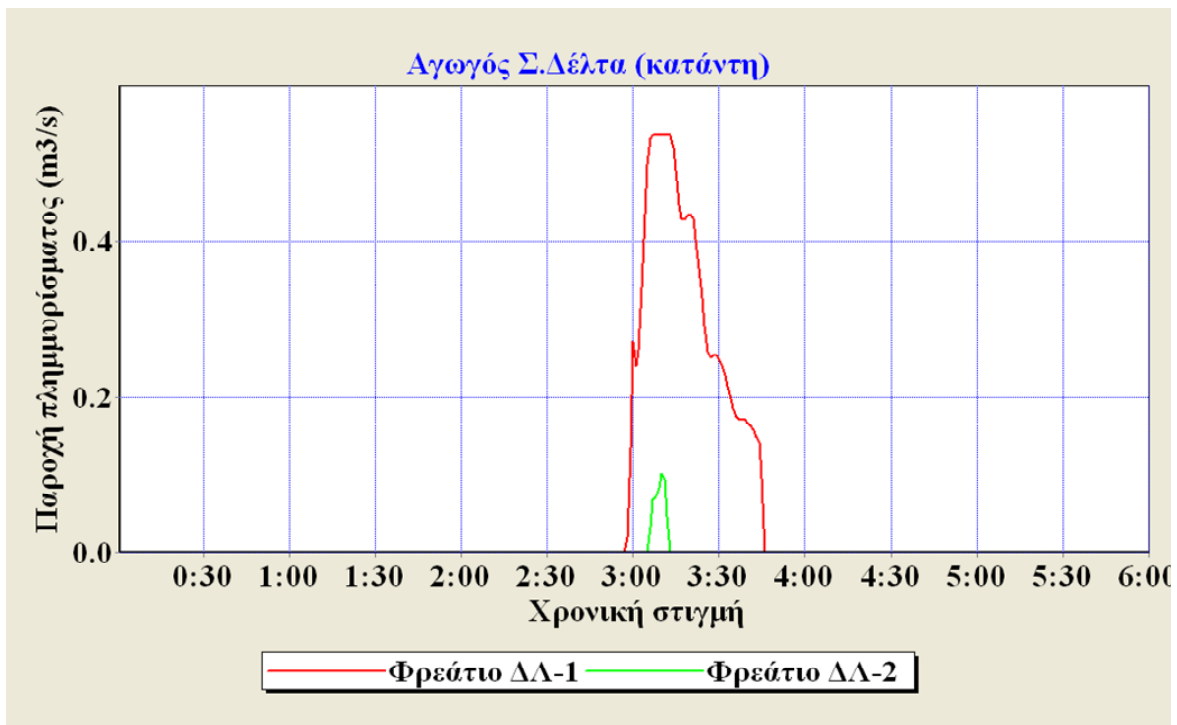
Σχήμα 5.40: Αναπαράσταση αγωγού Αγ. Δημητρίου



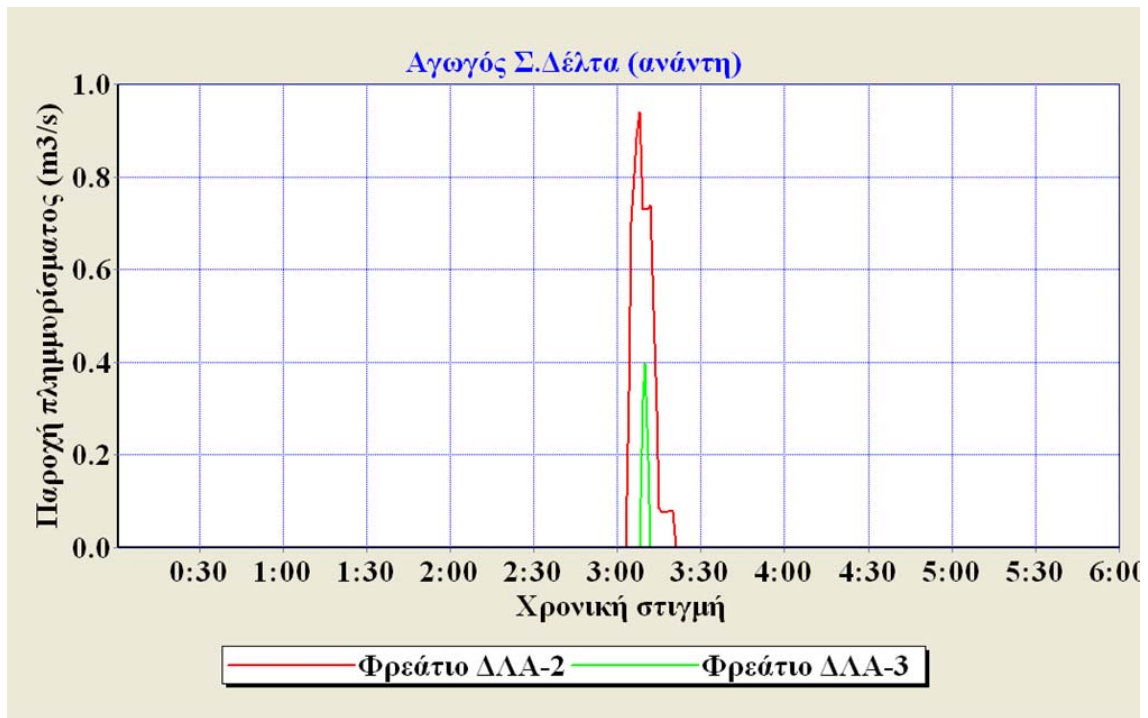
Σχήμα 5.41: Αναπαράσταση πλημμυρίσματος φρεατίων Αγ. Δημητρίου ύστερα από βροχοπτώση $T=50$, $d = 6$ h.



Σχήμα 5.42: Αναπαράσταση αγωγού Στ. Δέλτα



Σχήμα 5.43: Αναπαράσταση πλημμυρίσματος φρεατίων Σ. Δέλτα (κατάντη) ύστερα από βροχόπτωση $T = 50$, $d = 6$ h.

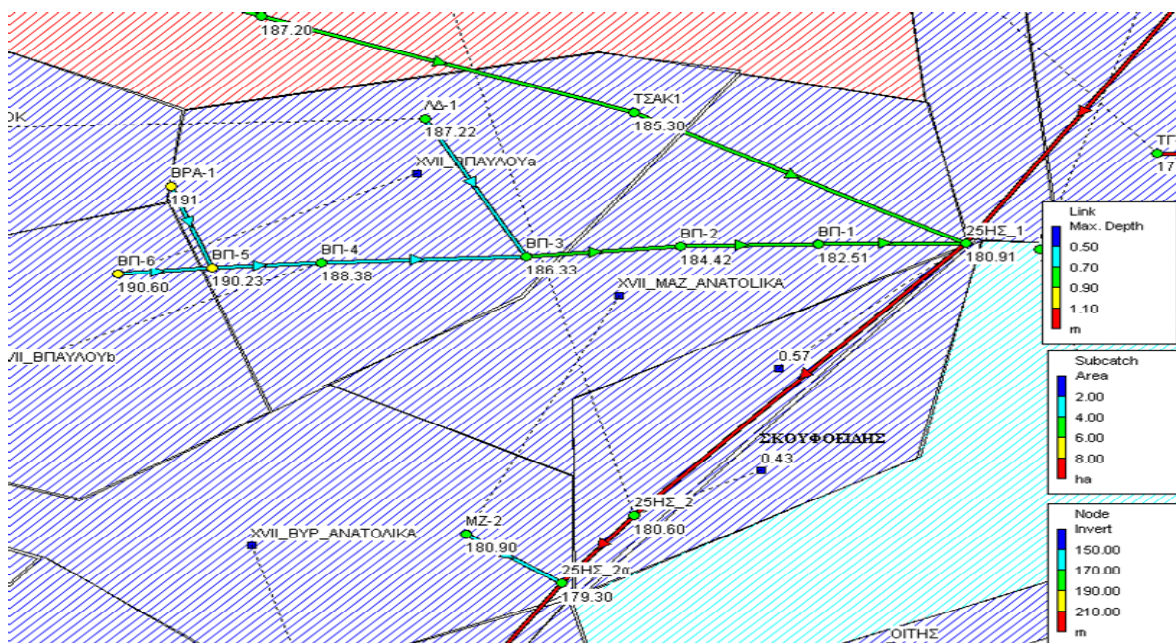


Σχήμα 5.44: Αναπαράσταση πλημμυρίσματος φρεατίων Σ. Δέλτα(κατάνη) ύστερα από βροχόπτωση $T = 50, d = 6$ h.

Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται όλα τα φρεάτια που υπερφορτίστηκαν και πλημμύρισαν για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας 6 h. Για τα φρεάτια αυτά, μπορούμε να γνωρίζουμε τη χρονική στιγμή του πλημμυρίσματος τους και για πόσο χρόνο ήταν υπερφορτισμένα. Η κατάσταση αναφοράς δείχνει τη χρονική στιγμή που το νερό έφτασε στη μέγιστη στάθμη καθώς και τον συνολικό όγκο του νερού σε κάθε φρεάτιο. Παρατηρούμε ότι όλα τα φρεάτια του Πίνακα 5.4 πλημμυρίζουν περίπου 10 λεπτά μετά το πρώτο τρίωρο που είναι λογικό αφού τότε βρισκόμαστε στην αιχμή της πλημμύρας. Αξιοσημείωτο είναι ότι το φρεάτιο ΔΑ-1 ήταν πλημμυρισμένο για σχεδόν 1 ώρα. Αυτό φαίνεται και γραφικά στο Σχήμα 5.43 όπου η κόκκινη καμπύλη που αναπαριστά το φρεάτιο ΔΑ-1 έχει αισθητά μεγαλύτερο πλάτος από το φρεάτιο ΔΑ-2 το οποίο πλημμυρίζει μόνο για 0.12 h. Επίσης, στο Σχήμα 5.43 φαίνεται καθαρά η διαφορά στην παροχή αιχμής ανάμεσα στο ΔΑ-1 και το ΔΑ-2. Ακόμη, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.4, ο συνολικός όγκος της πλημμύρας στο ΔΑ-1, ανήλθε στα $0.924 \cdot 10^6$ L, ενώ στο φρεάτιο ΤΓ-4 το οποίο έμεινε πλημμυρισμένο για λιγότερη ώρα (0.28 h), εμφανίστηκε πολύ μεγαλύτερη ποσότητα νερού ($2.335 \cdot 10^6$ L). Επιπλέον, παρατηρώντας τον Πίνακα 5.4 και το Σχήμα 5.44, φαίνεται ότι το φρεάτιο ΔΑΑ-2 εμφάνισε σχεδόν τριπλάσια παροχή πλημμυρίσματος για 0.28 h, από ότι το φρεάτιο ΔΑΑ-3 το οποίο πλημμύρισε για μόλις 0.06 h. Ακόμη, μεγάλη διαφορά σημειώνεται στα υπερφορτισμένα φρεάτια ΑΔ-1 και ΑΔ-6 που πλημμυρίζουν με μέγιστη παροχή $3.340 \text{ m}^3/\text{s}$ και $0.516 \text{ m}^3/\text{s}$ αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή γίνεται κατανοητή αν δούμε το Σχήμα 5.41. Τέλος, παρατηρείται ότι δεν συμπίπτουν όλοι οι συνδεδεμένοι κόμβοι του Πίνακα 5.5 με τους κόμβους του πίνακα 5.4. Αυτό συμβαίνει γιατί στον Πίνακα 5.5 έχουμε συμπεριλάβει μόνο τους αγωγούς με ποσοστό πλήρωσης 1, ενώ το πρόγραμμα θεωρεί υπερφορτισμένους τους αγωγούς με ποσοστό πλήρωσης από 0.90 έως 1. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και αγωγοί με ποσοστό πλήρωσης από 0.96-0.98, όπως οι 28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_4, 28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_5, 28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_6, 28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_7, 28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_8, 28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_9, ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ2, ΚΟΚΚΩΝΗ_5, ΠΑΛΑΜΑ.

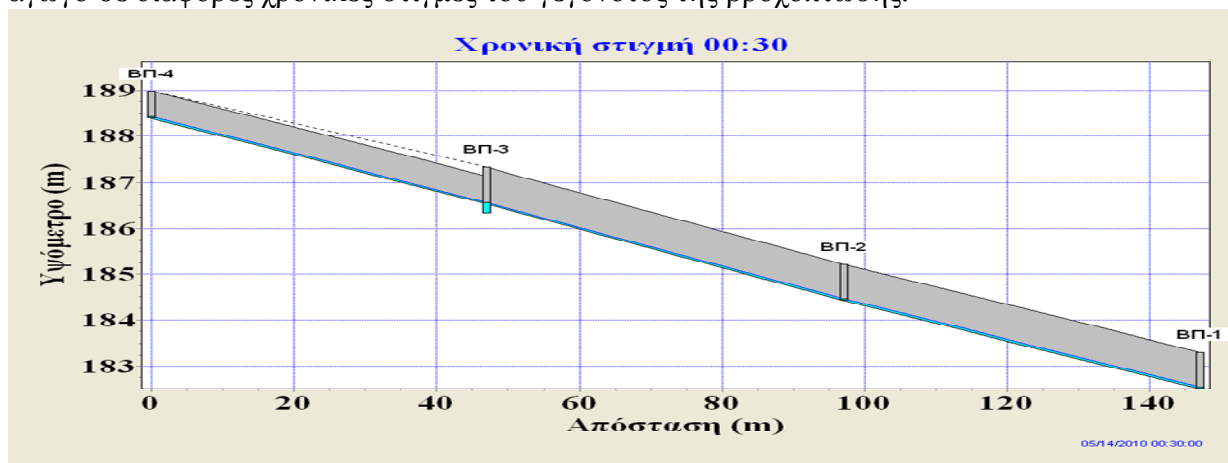
5.3.4 Μοντελοποίηση του βάθους ροής σε αγωγό του δικτύου για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 ετών

Το SWMM έχει τη δυνατότητα παραγωγής προφίλ του αγωγού σε κάθε χρονική στιγμή του γεγονότος βροχόπτωσης. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να δούμε σχηματικά πως μεταβάλλεται το βάθος ροής με την πάροδο του χρόνου, σε οποιοδήποτε αγωγό. Ας παρακολουθήσουμε ενδεικτικά τι συμβαίνει σε τμήματα του αγωγού της Βασ. Παύλου κάτω από βροχή σχεδιασμού 50 ετών. Η Βασ. Παύλου βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης και καταλήγει στον σκουφοειδή αγωγό. Ο αγωγός της οδού φαίνεται αναλυτικά στο Σχήμα 5.45. Ο αγωγός συνίσταται από 6 τμήματα και αποτελείται από 7 φρεάτια υδροσυλλογής, των οποίων φαίνεται η ονομασία και το υψόμετρο πυθμένα. Ανατρέχοντας στον Πίνακα 5.4 του προηγούμενου υποκεφαλαίου φαίνεται ότι τη χρονική στιγμή 3:10 έχουμε τη μέγιστη στάθμη του νερού και τα φρεάτια ΒΠ-1 και ΒΠ-4 πλημμυρίζουν.

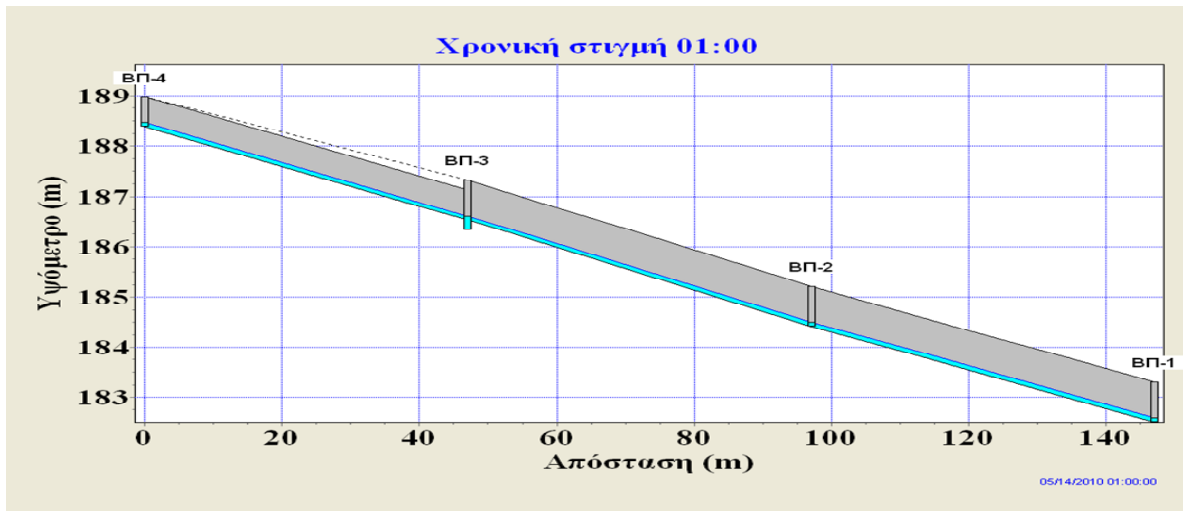


Σχήμα 5.45: Σχηματική αναπαράσταση αγωγού οδού Βασ. Παύλου με κατάληξη στον σκουφοειδή.

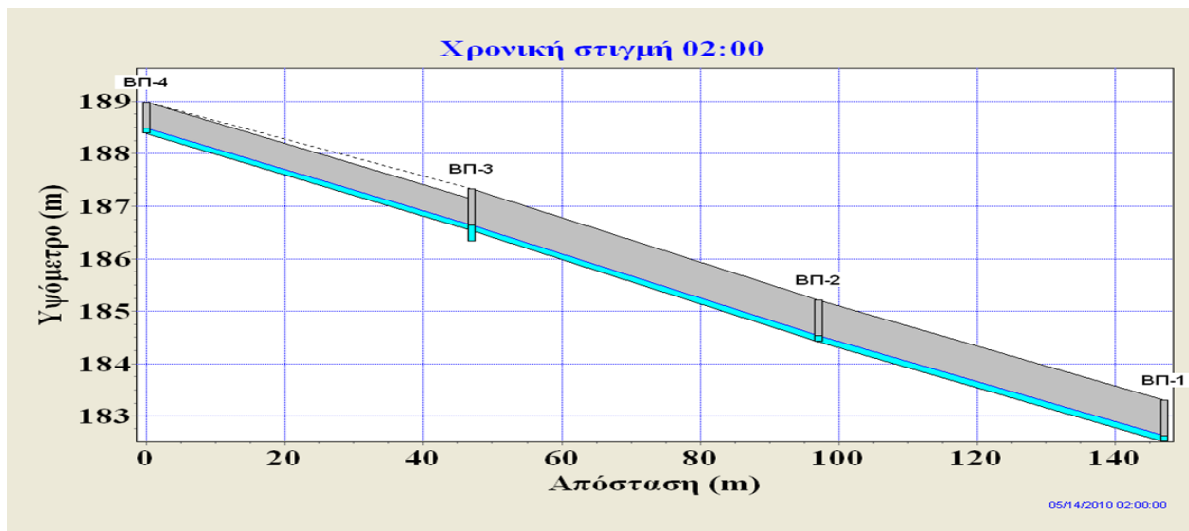
Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται αναλυτικά η μεταβολή της στάθμης του νερού στον αγωγό σε διάφορες χρονικές στιγμές του γεγονότος της βροχόπτωσης.



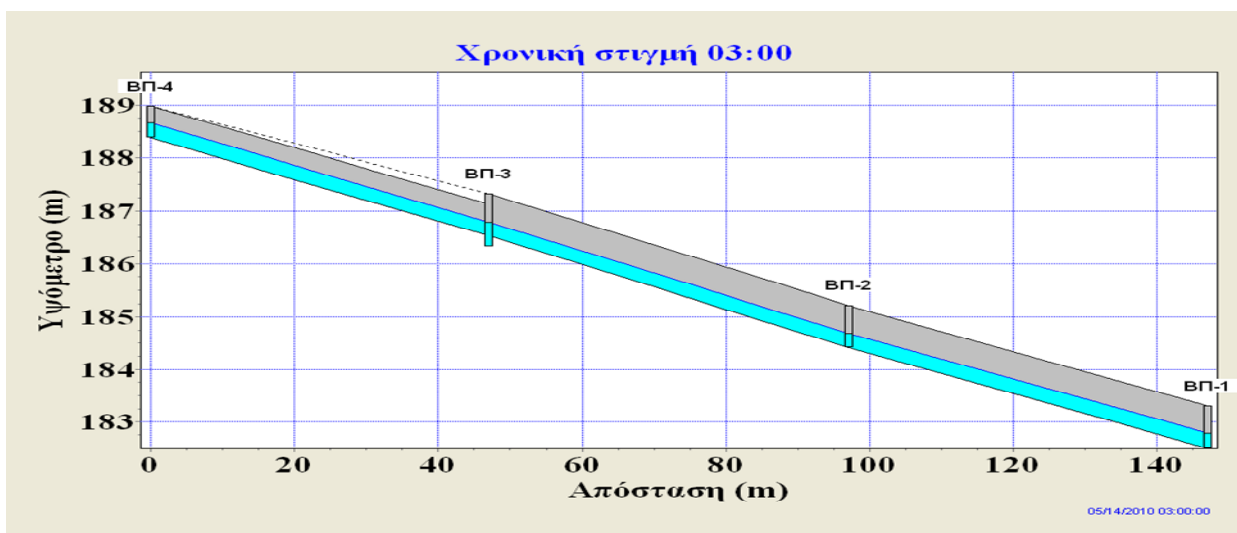
Σχήμα 5.46: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 00:30.



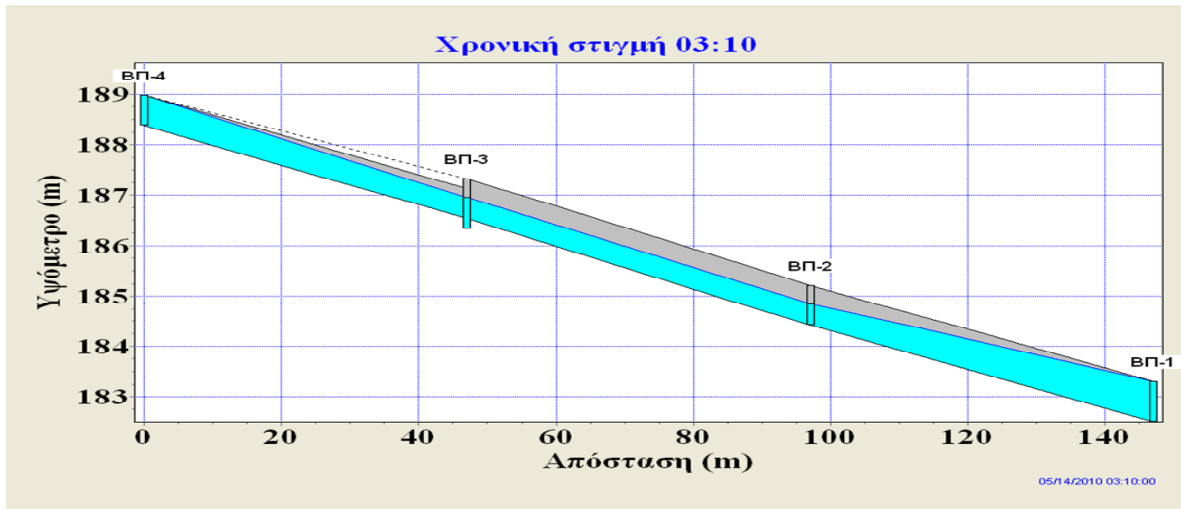
Σχήμα 5.47: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 01:00.



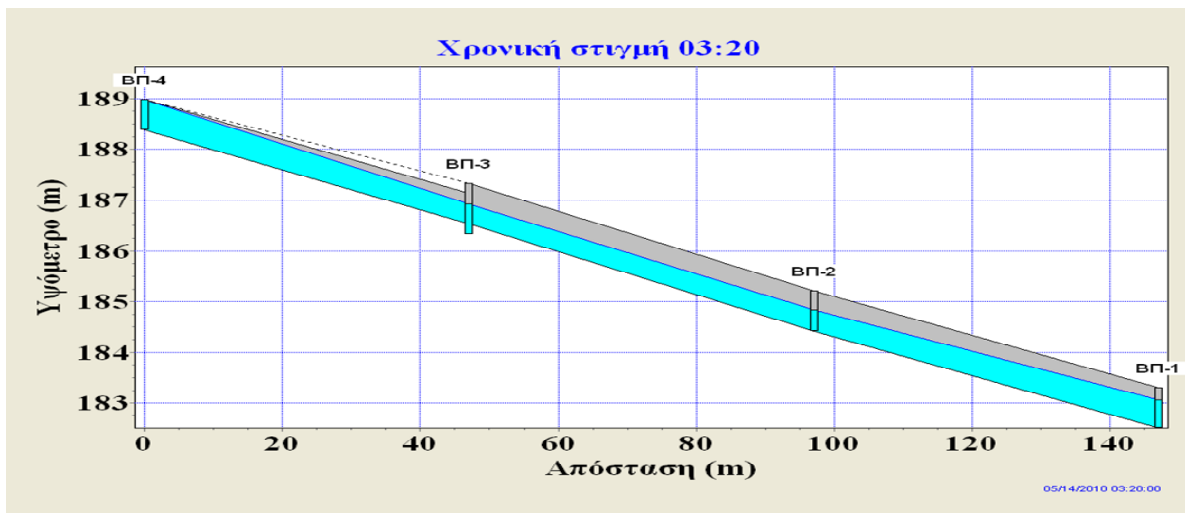
Σχήμα 5.48: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 02:00.



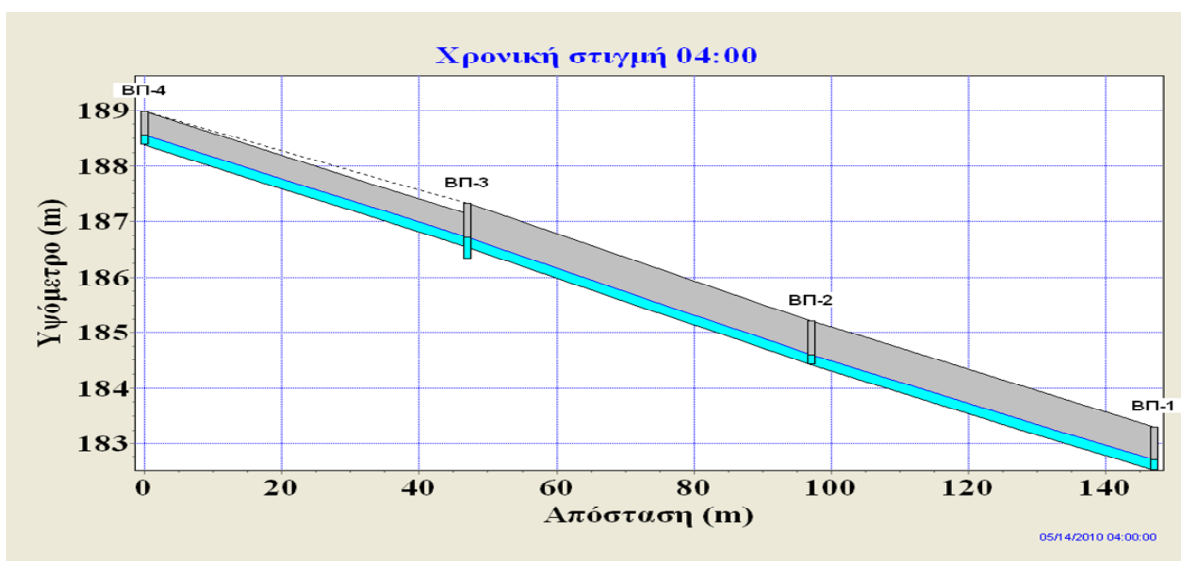
Σχήμα 5.49: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 03:00.



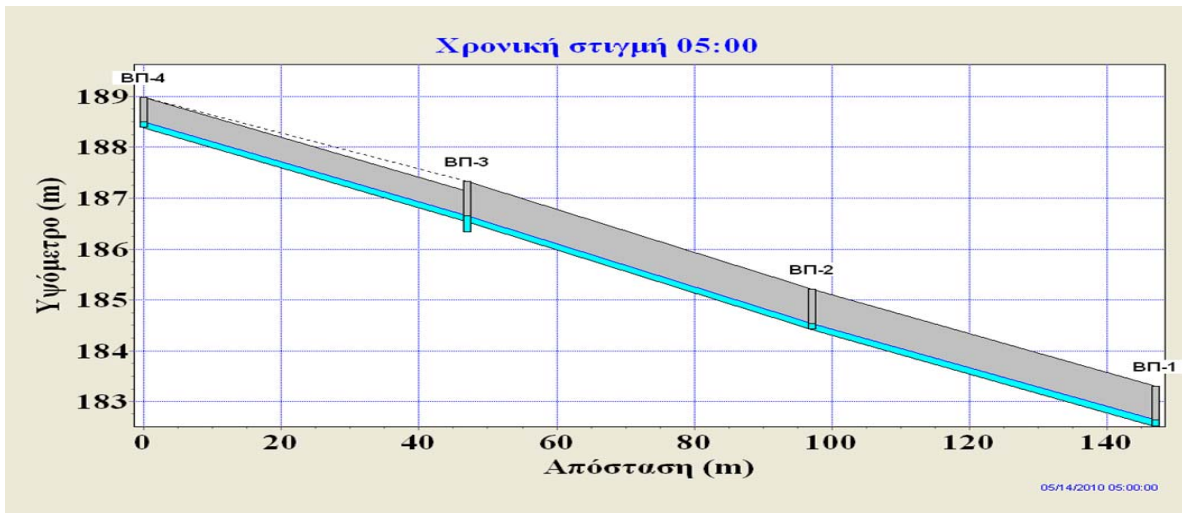
Σχήμα 5.50: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 03:10.



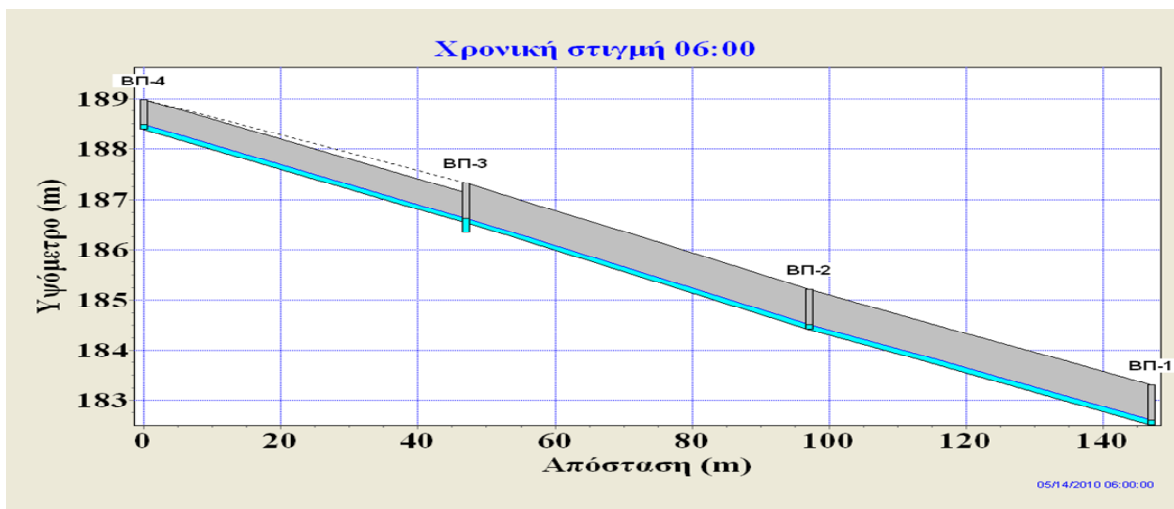
Σχήμα 5.51: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 3:20.



Σχήμα 5.52: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 4:00.



Σχήμα 5.53: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 5:00



Σχήμα 5.54: Στάθμη νερού σε τμήμα του αγωγού της οδού Βασ. Παύλου τη χρονική στιγμή 6:00

Παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα, βλέπουμε ότι η στάθμη του νερού είναι πολύ χαμηλή την πρώτη μισή ώρα και αυξάνεται σταδιακά μέχρι την 3^η ώρα. Μέχρι τον χρόνο αυτό, κανένα τμήμα του αγωγού και κανένα φρεάτιο δεν έχει υπερφορτιστεί. Όμως τη χρονική στιγμή 3:10 τα φρεάτια ΒΠ-4 και ΒΠ-1 υπερφορτίζονται και πλημμυρίζουν, φαινόμενο λογικό αφού βρισκόμαστε στην αιχμή της πλημμύρας. Στην συνέχεια, τη χρονική στιγμή 3:20 το φρεάτιο ΒΠ-4 παραμένει υπερφορτισμένο, ενώ στο ΒΠ-1 η στάθμη του νερού έχει κατέβει. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 5.4 αφού αναφέρεται ότι ο το ΒΠ-4 παραμένει υπερφορτισμένο για 0.26 h δηλαδή για 15 min περίπου, ενώ το ΒΠ-1 για 0.12 h δηλαδή για μόλις 7.2 min. Ακόμη, από την 4^η προς την 5^η ώρα είναι αισθητή η μείωση της στάθμης του νερού στον αγωγό, ενώ από την 5^η προς την 6^η ώρα η στάθμη του νερού φαίνεται να σταθεροποιείται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Η υδραυλική συμπεριφορά του αγωγού το τελευταίο δίωρο είναι λογική, αφού πλησιάζει το τέλος του πλημμυρικού γεγονότος. Ακόμη, να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια του παραπάνω πλημμυρικού γεγονότος, το νερό στα φρεάτια ΒΠ-3 και ΒΠ-2 δεν φτάνει ποτέ στη μέγιστη στάθμη του.

5.4 Περίπτωση με δυαδικό σύστημα αποχέτευσης (Περίπτωση III)

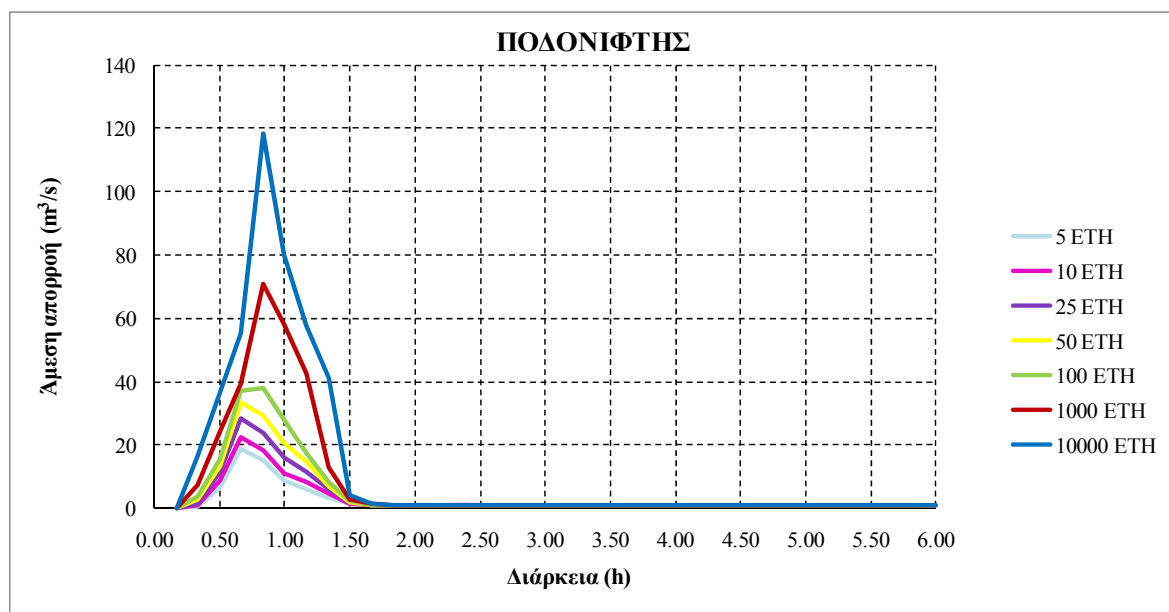
5.4.1 Γενικά

Το δυαδικό σύστημα αποχέτευσης αποτελεί μια εξέλιξη του απλού αποχετευτικού δικτύου και με αυτό είναι δυνατή η πραγματοποίηση υδραυλικής διόδευσης για οποιοδήποτε πλημμυρικό φαινόμενο, ανεξαρτήτως περιόδου επαναφοράς. Στο υποκεφάλαιο αυτό, εισάγουμε βροχές που αναφέρονται σε περιόδους επαναφοράς από 25 έως και 10000 χρόνων και θα μελετήσουμε την υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος. Συγκεκριμένα, θα μελετήσουμε τα υδρογραφήματα απορροής στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος για διάφορα T και παράλληλα θα δούμε αριθμητικά και γραφικά τις μεταβολές διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε επιλεγμένους αγωγούς και φρεάτια.

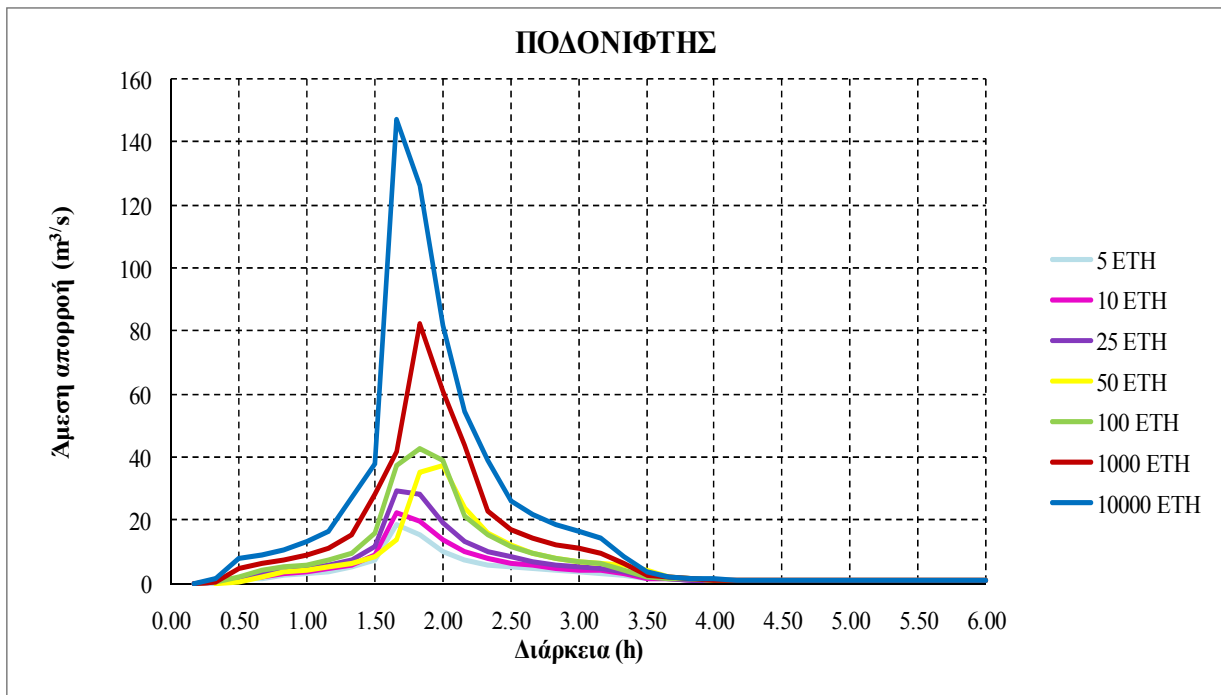
5.4.2 Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος

Ένας από τους κύριους στόχους της μελέτης του αποχετευτικού συστήματος ομβρίων, είναι ο προσδιορισμός των παροχών στις εξόδους του συστήματος, για διάφορα γεγονότα βροχόπτωσης σχεδιασμού. Οι παροχές αυτές αποτελούν και το κύριο εξαγόμενο που προκύπτει από τη μοντελοποίηση του δικτύου. Έτσι, λοιπόν αφού εισήχθησαν στο μοντέλο όλα τα υετογράμματα βροχοπτώσεων, διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς εφαρμόστηκε διόδευση πλημμύρας και προσδιορίστηκαν τα υδρογραφήματα άμεσης απορροής στις δύο εξόδους.

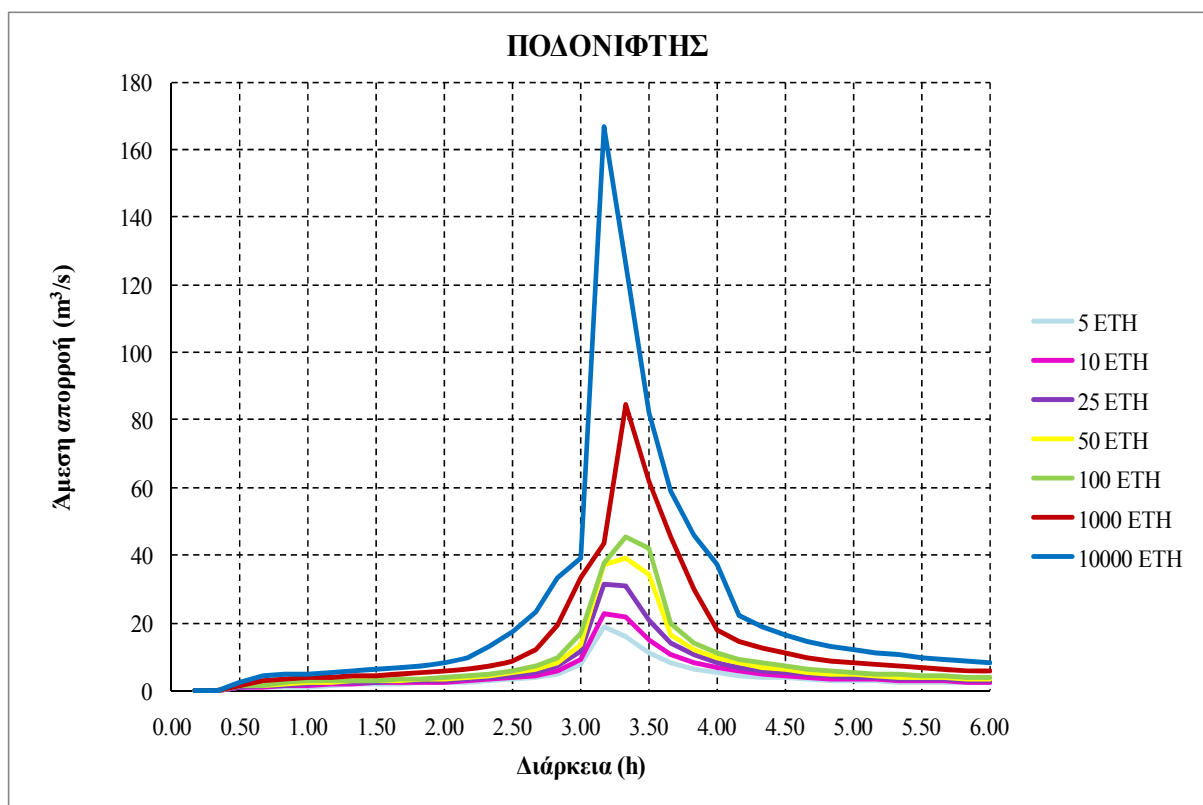
Στα σχήματα που ακολουθούν, αναπαρίστανται τα υδρογραφήματα απορροής στις δύο εξόδους του αποχετευτικού δικτύου για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 25, 50, 100, 1000 και 10000 ετών και διάρκειες βροχόπτωσης 1, 3, 6, 12 ωρών. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δηλαδή οι τεταγμένες των υδρογραφημάτων, παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες στο Παράρτημα 3. Ας δούμε πρώτα τι συμβαίνει στην έξοδο του Ποδονίφτη.



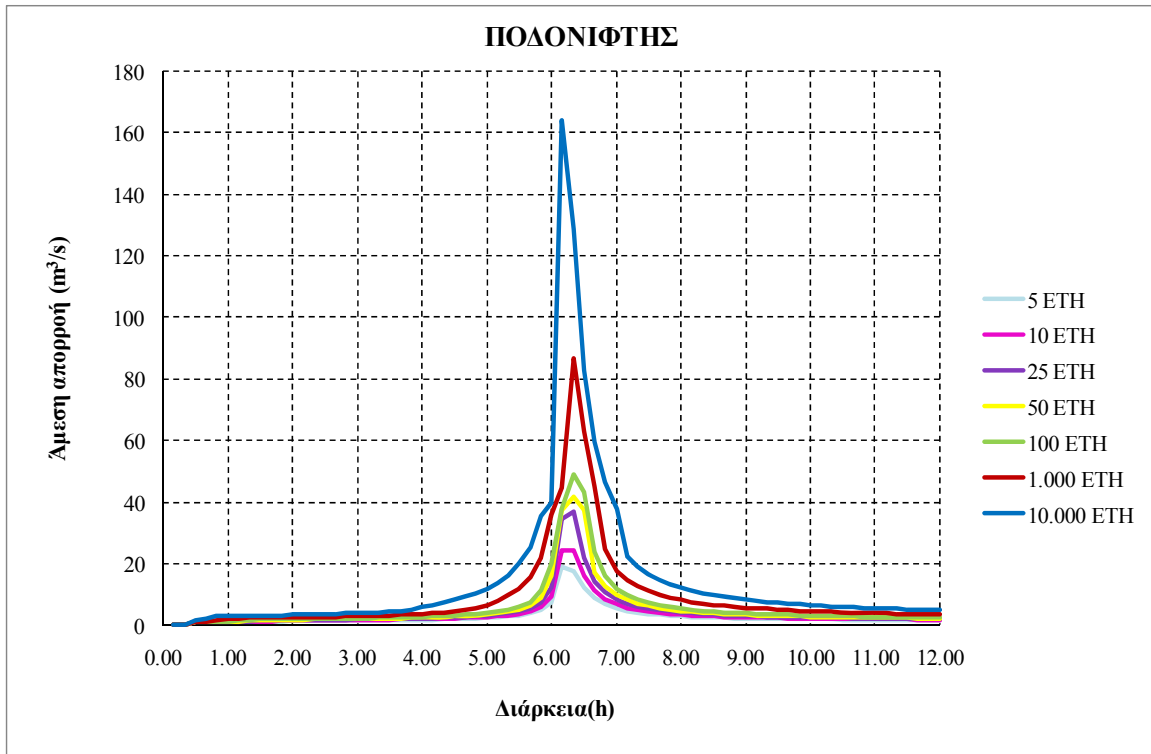
Σχήμα 5.55: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον Ποδονίφτη για διάφορα T , και $d = 1$ h.



Σχήμα 5.56: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον Ποδονίφτη για διάφορα T , και $d = 3$ h



Σχήμα 5.57: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον Ποδονίφτη για διάφορα T και, $d = 6$ h

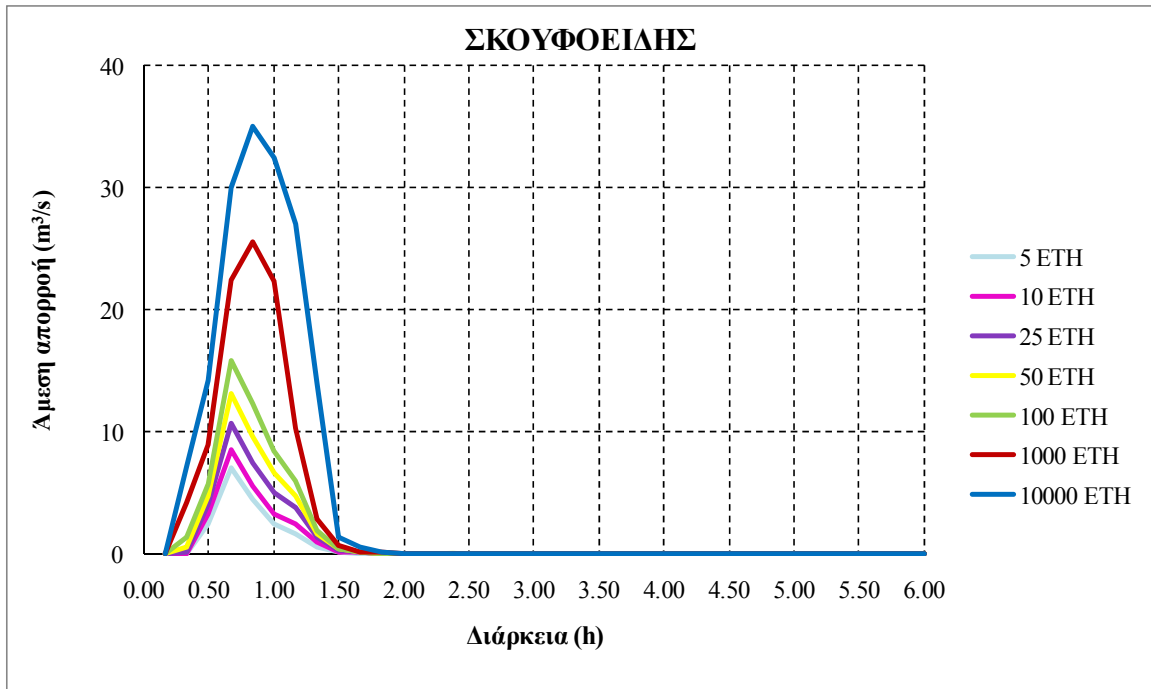


Σχήμα 5.58: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον Ποδονίφτη για διάφορα T , και $d = 12$ h

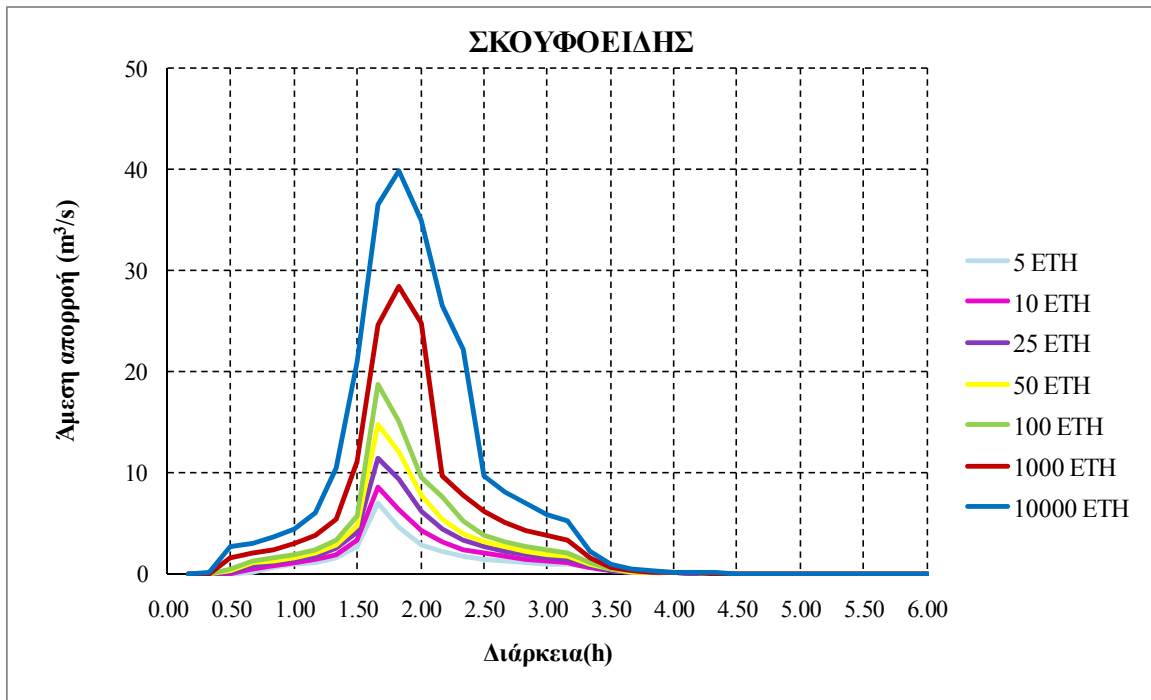
Μελετώντας τα παραπάνω σχήματα, παρατηρούμε ότι:

- Για βροχές διάρκειας 3h, 6 h και 12 h, η μέγιστη παροχή εμφανίζεται λίγο μετά την μέση πλημμυρικών γεγονότων εκτός από την παροχή για γεγονός βροχόπτωσης $d = 3$ h και $T = 50$ όπου η αιχμή εμφανίζεται ύστερα από 2 ώρες.
- Ύστερα από 1000 χρόνια για διάρκειες βροχόπτωσης 3 ως 12 ώρες η μέγιστη παροχή απορροής είναι λίγο μεγαλύτερη από $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ενώ για $d = 1$ h αγγίζει τα $70 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Για $T = 10000$ χρόνια η αιχμή της απορροής σχεδόν διπλασιάζεται σε σχέση με τα 1000 χρόνια, για $d = 6$ h και $d = 12$ h.
- Για $T = 25$ και για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης η παροχή αιχμής είναι περίπου $30 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Για διάρκεια $d = 1$ h στο τέλος της 1^{ης} ώρας η παροχή απορροής δεν έχει πέσει. Δραματική μείωση της παροχής παρατηρείται ύστερα από 1.5 h ώρα από την έναρξη της βροχής. Το ίδιο ισχύει και για βροχή 3 ωρών. Η παροχή πέφτει δραματικά και σταματάει μετά από 3.5 ώρες από την έναρξη του πλημμυρικού γεγονότος.

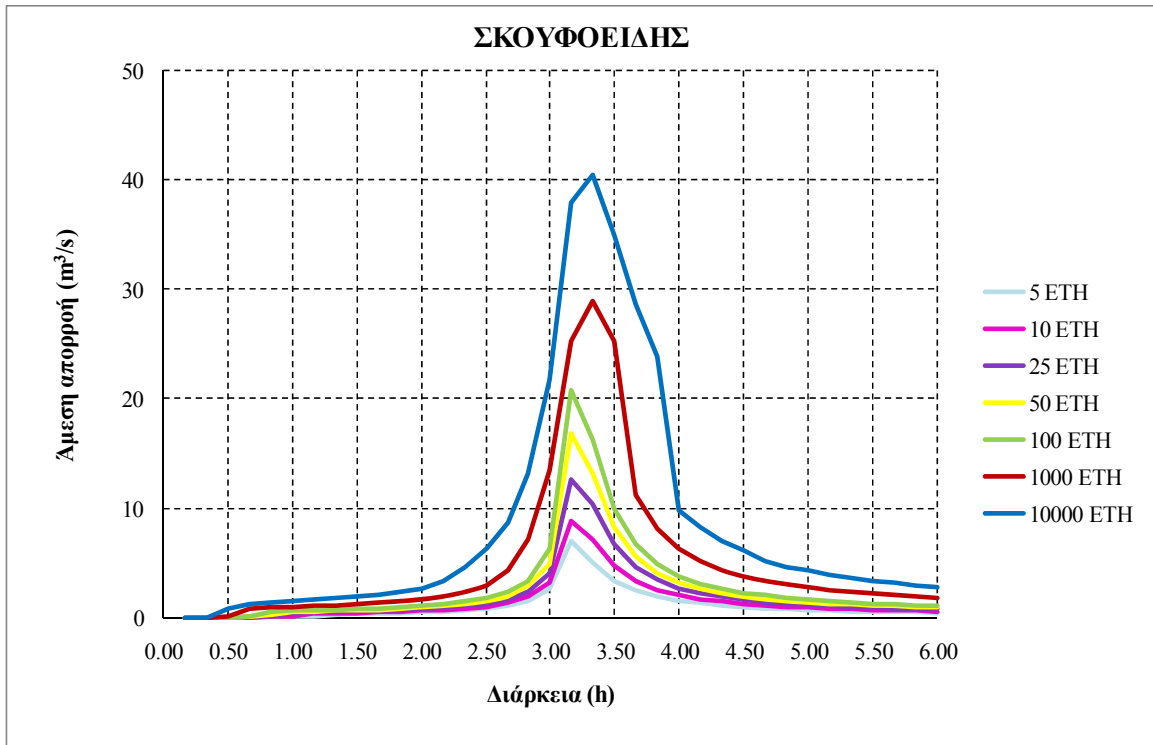
Παρακάτω παρατίθενται τα αντίστοιχα υδρογραφήματα και στην έξοδο του σκουφοειδούς αγωγού.



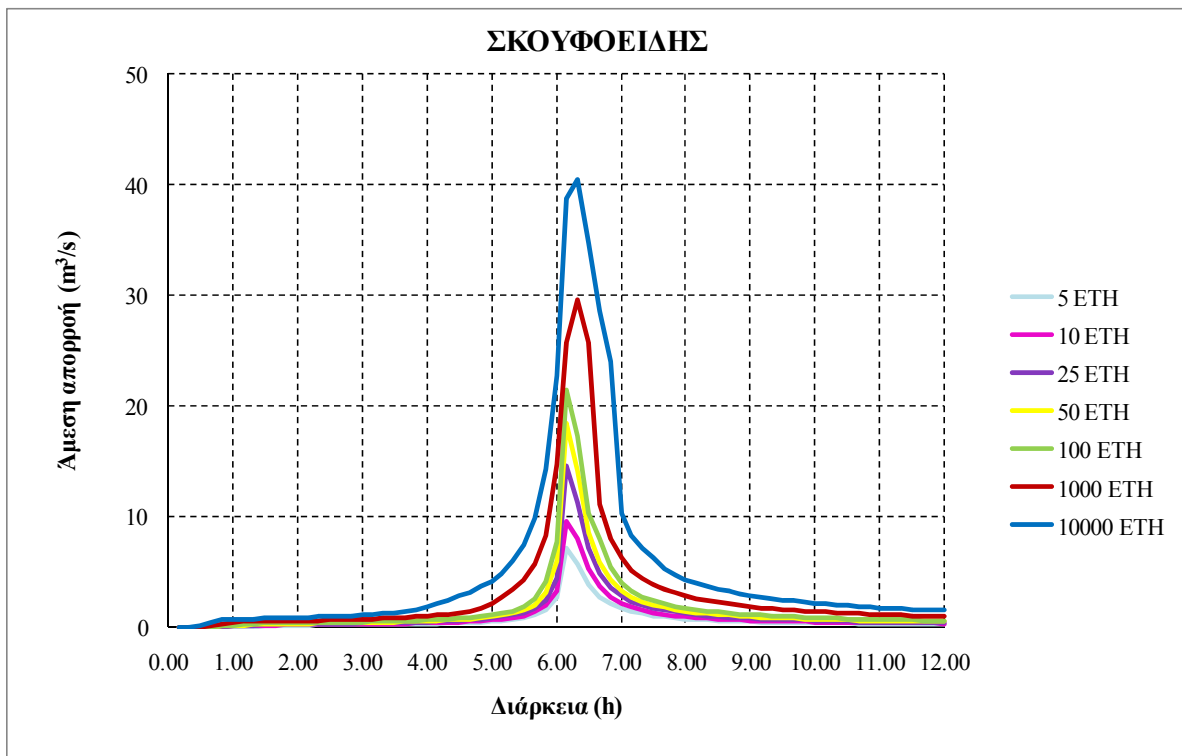
Σχήμα 5.59: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον σκουφοειδή για διάφορα T , και $d = 1$ h.



Σχήμα 5.60: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον σκουφοειδή για διάφορα T , και $d = 3$ h.



Σχήμα 5.61: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον σκουφοειδή για διάφορα T , και $d = 6$ h.



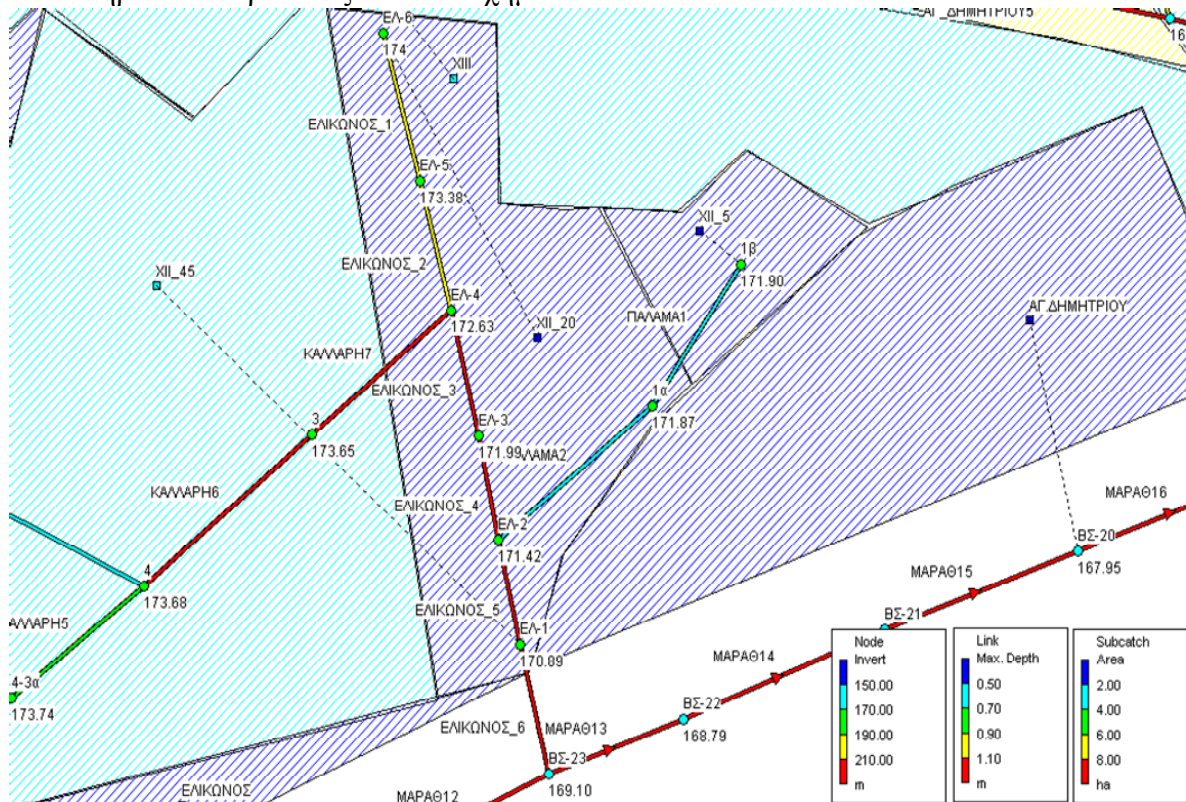
Σχήμα 5.62: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής αστικής λεκάνης στον σκουφοειδή για διάφορα T , και $d = 12$ h.

Μελετώντας και τα σχήματα που αφορούν τον σκουφοειδή αγωγό παρατηρούμε τα εξής:

- Σε όλα τα παραπάνω γεγονότα βροχόπτωσης, για την περίοδο σχεδιασμού των 25 ετών η αιχμή απορροής κυμαίνεται μεταξύ 10-15 m³/s.
- Ύστερα από 1000 χρόνια και για όλες τις διάρκειες βροχόπτωσης, η μέγιστη παροχή στη έξοδο, σημειώνεται μεταξύ 25-30 m³/s.
- Ύστερα από 10000 χρόνια, για διάρκειες βροχόπτωσης $d = 3$ h, $d = 6$ h και $d = 12$ h, η αιχμή της απορροής αγγίζει τα 40 m³/s ενώ για $d = 1$ h πλησιάζει τα 35 m³/s.
- Για διάρκειες 6 h και 12 h και για κάθε T , στο τέλος των πλημμυρικών γεγονότων η παροχή απορροής, λαμβάνει τιμές κάτω από 5 m³/s.
- Οι παροχές αιχμής στον Ποδονίφτη είναι τριπλάσιες από τις παροχές αιχμής στον σκουφοειδή.

5.4.3 Προσδιορισμός διαφόρων υδραυλικών μεγεθών σε αγωγούς συμβολής στο βασικό συλλεκτήρα για πλημμυρικό γεγονός 25 ετών

Στο σημείο αυτό, θα μελετήσουμε ενδεικτικά κάποιους από τους αγωγούς συμβολής του αποχετευτικού συστήματος. Συγκεκριμένα, θα παρακολουθήσουμε διάφορα υδραυλικά μεγέθη που συνδέονται με αυτούς και θα δούμε πως μεταβάλλονται με τον χρόνο για $T = 25$ έτη. Το λογισμικό SWMM, ύστερα από το τρέξιμο διαφόρων γεγονότων βροχόπτωσης έχει τη δυνατότητα παραγωγής κάποιων διαγραμμάτων. Αρχικά, θα μελετήσουμε τον αγωγό της οδού Ελίκωνος για βροχή διάρκειας 6 h. Ο αγωγός αυτός καταλήγει στον βασικό συλλεκτήρα και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.63.



Σχήμα 5.63: Συνολική αναπαράσταση του αγωγού της οδού Ελίκωνος

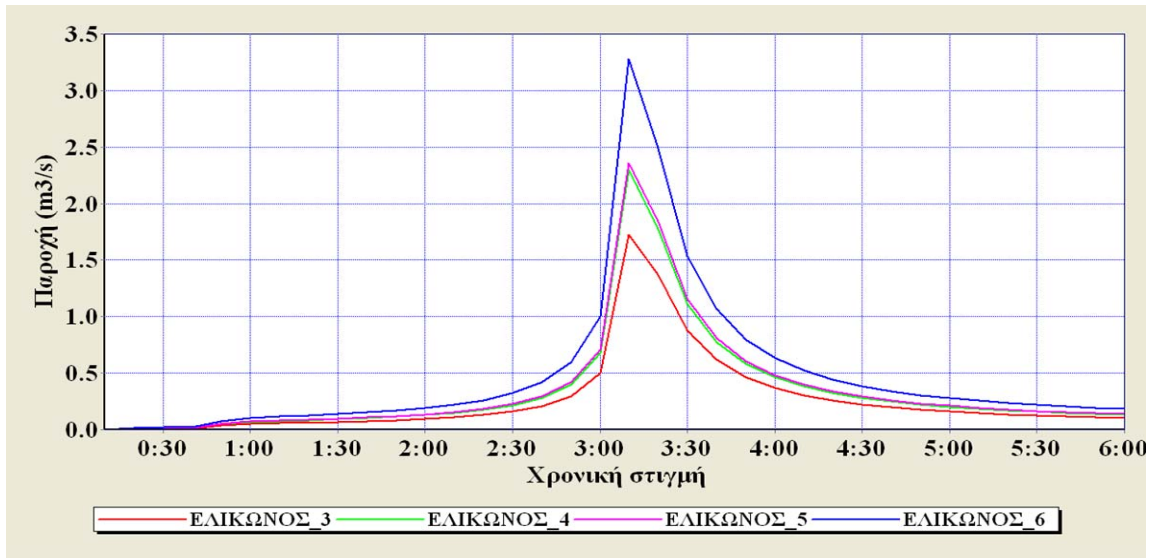
Ο αγωγός της οδού Ελίκωνος, αποτελείται από 6 επιμέρους τμήματα. Τα δύο πρώτα εμφανίζονται με κίτρινο χρώμα ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα με κόκκινο. Η χρωματική αυτή

διαφοροποίηση οφείλεται στην μεταβολή της διαμέτρου των αγωγών όπως φαίνεται και στο υπόμνημα του σχήματος. Παρατηρούμε ότι τα τμήματα του αγωγού συνδέονται με κόμβους που ουσιαστικά αναπαριστούν τα φρεάτια του αποχετευτικού συστήματος και δίπλα σε κάθε κόμβο αναγράφεται η ονομασία του και το υψόμετρο του πυθμένα του. Με διακεκομμένη γραμμή υποδεικνύεται που αποχετεύεται κάθε υπολεκάνη του συστήματος. Να σημειωθεί ότι στον κόμβο ΕΛ-6 αποχετεύονται λεκάνες που βρίσκονται ανάντη και δεν φαίνονται στο σχήμα. Στα τμήματα του αγωγού, εισέρχονται νερά είτε απευθείας από λεκάνες, είτε μέσω άλλων αγωγών. Ο αγωγός συνίσταται από τα εξής τμήματα: ΕΛΙΚΩΝΟΣ_1, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_2, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6. Ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_1 δέχεται μέσω του κόμβου ΕΛ_6 τα νερά από τις λεκάνες Ι_ΕΛΙΚΩΝΟΣ και ΧΙΙ_20 εκτάσεων 4.543, και 1.746ha αντίστοιχα. Στο φρεάτιο ΕΛ-5, εισέρχονται τα νερά της λεκάνης ΙΙ_ΕΛΙΚΩΝΟΣ, εκτάσεως 0.445ha και ρέουν μέσα στον αγωγό ΕΛΙΚΩΝΟΣ_2. Ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3 δέχεται τα νερά που προέρχονται από τον αγωγό ΚΑΛΛΑΡΗ_7 ενώ ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4 δέχεται μέσω του φρεατίου ΕΛ-3 τα νερά της ΙΙΙ_ΕΛΙΚΩΝΟΣ εκτάσεως 2.418 ha. Στον αγωγό ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5, από το φρεάτιο ΕΛ_2 εισέρχονται τα νερά του αγωγού ΠΑΛΑΜΑ2 και, τέλος, στον κόμβο ΕΛ_1 (αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6) αποχετεύεται η λεκάνη ΧΙΙ_45 συνολικής έκτασης 3.928 ha. Ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6 αποτελεί το τελευταίο τμήμα του αγωγού της οδού Ελίκωνος το οποίο οδηγεί τον συνολικό όγκο του νερού του αγωγού στον βασικό συλλεκτήρα, στον κόμβο ΒΣ_23. Εμείς θα μελετήσουμε την υδραυλική συμπεριφορά των 4 τελευταίων τμημάτων του αγωγού της οδού Ελίκωνος (ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6). Στον Πίνακα 5.5 φαίνονται οι παροχές αιχμής, η χρονική στιγμή εμφάνισης τους, οι μέγιστες ταχύτητες και το μέγιστο ποσοστό πλήρωσης για τα παραπάνω τμήματα και πλημμυρικό γεγονός $T = 25$, $d = 6$ h.

Πίνακας 5.5: Υδραυλικά μεγέθη του αγωγού της οδού Ελίκωνος τη χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας, γεγονόςτος βροχόπτωσης 6 ωρών.

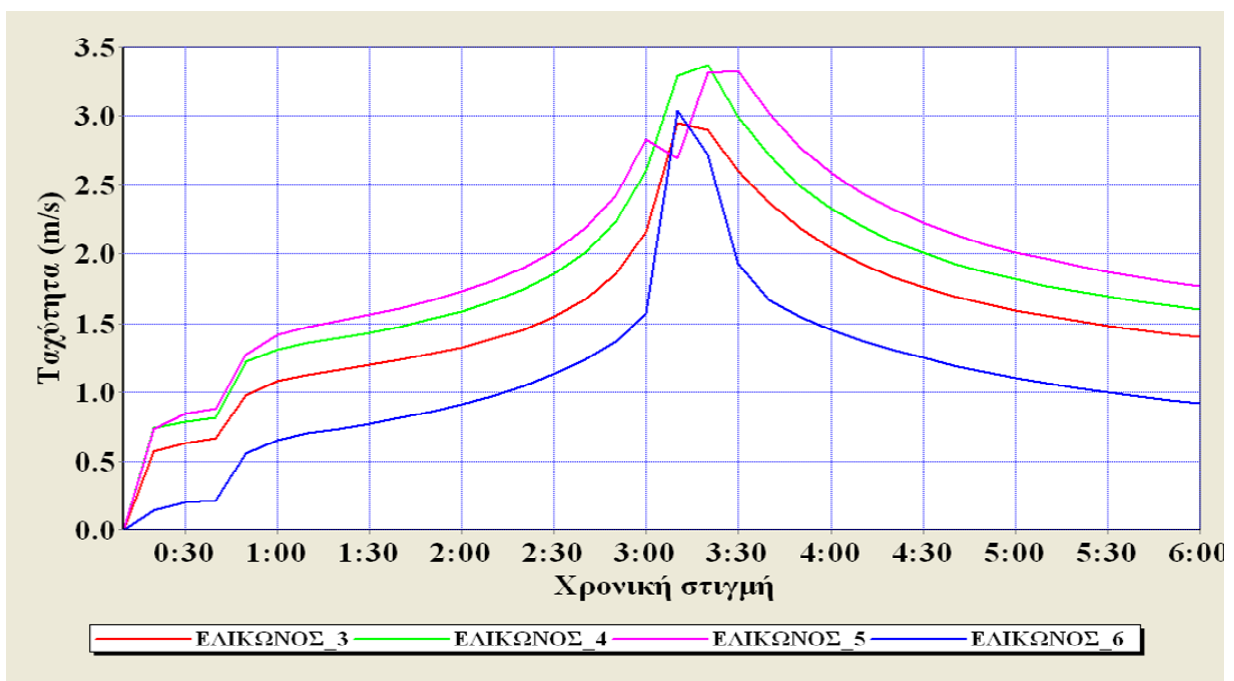
Τμήμα αγωγού	Q_{max} (m ³ /s)	Χρονική στιγμή εμφάνισης αιχμής (h:min)	Μέγιστη ταχύτητα (m/s)	Μέγιστο ποσοστό Πλήρωσης
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3	1.758	3:10	2.99	0.52
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4	2.324	3:10	3.37	0.60
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5	2.411	3:10	3.57	0.75
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6	3.304	3:10	3.04	0.93

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η παροχή αιχμής εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 3:10, ενώ οι μέγιστες ταχύτητες στα τμήματα του αγωγού δεν ξεπερνούν τα 3.57 m/s. Αξιοσημείωτο είναι ότι το τελευταίο τμήμα του αγωγού (ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6) εμφανίζει ποσοστό πλήρωσης 0.93 για τόσο μικρή περίοδο επαναφοράς. Στα παρακάτω σχήματα, που παρήχθησαν από το πρόγραμμα ύστερα από το τρέξιμο της εφαρμογής για 25 έτη και 6 ώρες βροχόπτωσης, βλέπουμε πως μεταβάλλονται τα παραπάνω υδραυλικά μεγέθη καθ όλη την διάρκεια του πλημμυρικού γεγονότος.

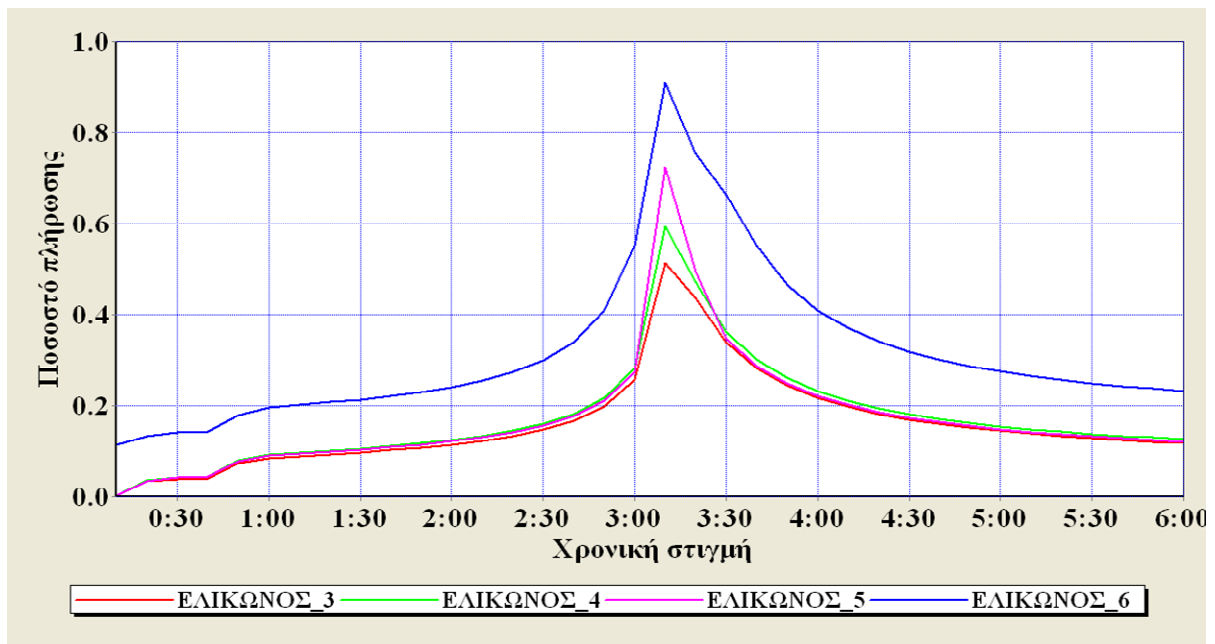


Σχήμα 5.64: Μεταβολή παροχών σε τμήματα του αγωγού της οδού Ελίκωνος για γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών.

Στο Σχήμα 5.64 παρατηρούμε ότι καθ' όλη την διάρκεια του πλημμυρικού γεγονότος, οι παροχές του τμήματος ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6 είναι μεγαλύτερες από τις παροχές των ανάντη τμημάτων του αγωγού. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6 αποτελεί το τελευταίο τμήμα του αγωγού της οδού που καταλήγει στο βασικό συλλεκτήρα και συγκεντρώνει όλα τα νερά που προέρχονται από ανάντη. Ακόμη, οι τιμές των παροχών του αγωγού ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3 σχεδόν συμπίπτουν με τις αντίστοιχες τιμές του αγωγού ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 5.5, αν δούμε τις αιχμές.



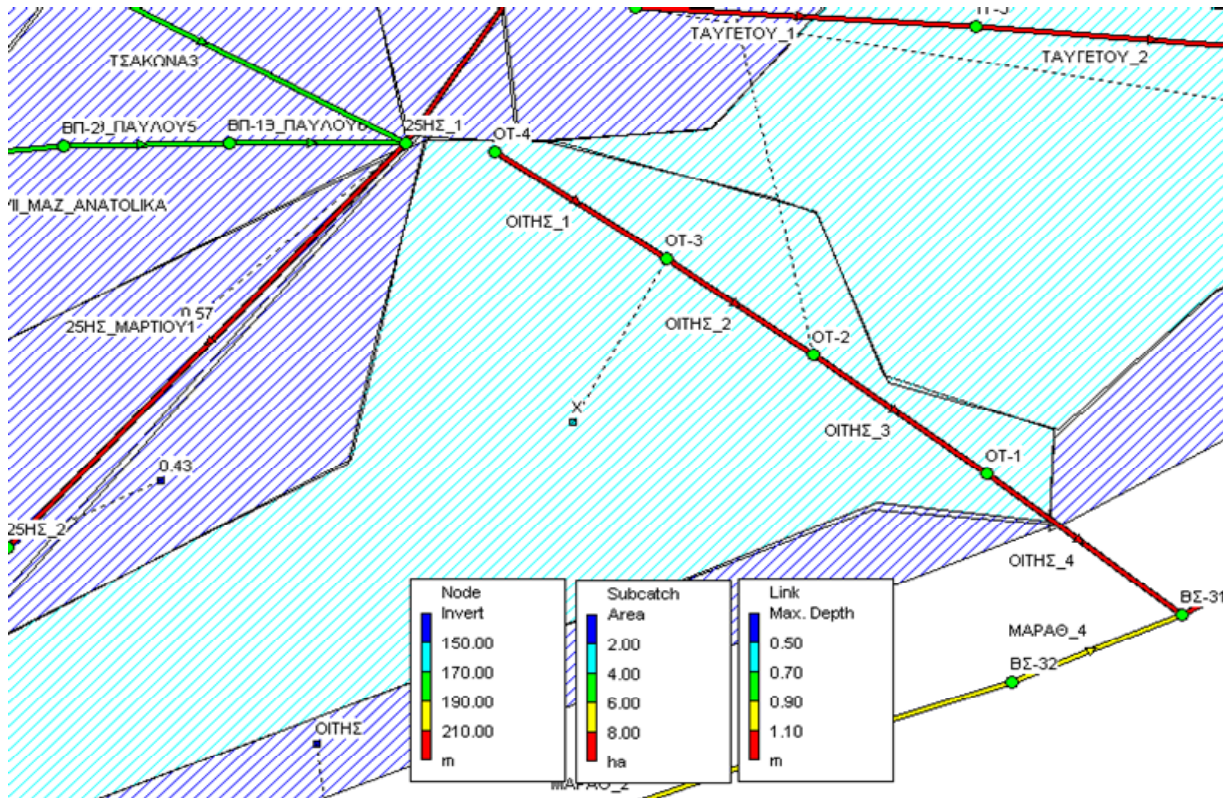
Σχήμα 5.65: Μεταβολή ταχυτήτων σε τμήματα του αγωγού της οδού Ελίκωνος για γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών.



Σχήμα 5.66:Μεταβολή του ποσοστού πλήρωσης σε τμήματα του αγωγού της οδού Ελίκωνος για γεγονός βροχόπτωσης 6 ωρών.

Παρόλο που ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6 συγκριτικά με τα υπόλοιπα τμήματα εμφανίζει τις μεγαλύτερες παροχές, δεν εμφανίζει και τις μεγαλύτερες ταχύτητες όπως βλέπουμε στο Σχήμα 5.65. Όμως, για τους αγωγούς ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5 βλέπουμε οι ταχύτητες έχουν άμεση σχέση με τις παροχές. Για παράδειγμα, βλέπουμε ότι ο αγωγός ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5, που εμφανίζει μεγαλύτερες παροχές (Σχήμα 5.64) εμφανίζει αντίστοιχα και μεγαλύτερες ταχύτητες (Σχήμα 5.65). Αντιστοιχία παροχών και ταχυτήτων υπάρχει και για τους ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4 και ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5, παρατηρούμε ότι η πράσινη γραμμή που αντιστοιχεί στον ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4 βρίσκεται υψηλότερα από την κόκκινη γραμμή που αντιστοιχεί στον ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3 και στα δύο σχήματα. Αυτή η (σχεδόν) αναλογία παροχών ταχυτήτων για τους παραπάνω τρεις αγωγούς μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι αναφερόμαστε σε σχεδόν ίδιες συνθήκες πλήρωσης, αφού στο Σχήμα 5.66 βλέπουμε ότι και οι τρεις αγωγοί εμφανίζουν παρόμοια ποσοστά πλήρωσης καθ' όλη τη διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου. Συγκεκριμένα, οι αγωγοί ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3, ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4 και ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5, λίγο πριν την 3^η ώρα και από την 4^η έως και το τέλος του πλημμυρικού φαινομένου εμφανίζουν ποσοστά πλήρωσης κάτω από 0.2 ενώ από την 3^η έως την 4^η ώρα τα ποσοστά πλήρωσης αυξάνονται με μέγιστη τιμές 0.52, 0.60 και 0.75 αντίστοιχα. Όσον αφορά τον αγωγό ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6, κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, τα ποσοστά πλήρωσης του κυμαίνονται από 0.2 ως 0.6, εκτός από το διάστημα από την αρχή βροχής έως την 1^η ώρα και από την 3^η έως την 4^η ώρα, οπότε τα ποσοστά πλήρωσης είναι κάτω από 0.2 και από 0.6 έως 0.93 αντίστοιχα. Η διαφορά στα ποσοστά πλήρωσης του αγωγού ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6 από τους υπόλοιπους τρεις εξηγείται από το ότι ο πρώτος συγκεντρώνει τα νερά όλων των ανάντη αγωγών.

Στην συνέχεια, θα μελετήσουμε την μεταβολή κάποιων υδραυλικών μεγεθών σε ένα ακόμη αγωγό που συμβάλλει στον βασικό συλλεκτήρα, τον αγωγό της οδού Οίτης, αυτή τη φορά για μεγαλύτερη διάρκεια βροχόπτωσης, 12 h. Ο αγωγός αυτός παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.67.



Σχήμα 5.67:Συνολική αναπαράσταση του αγωγού της οδού Οίτης.

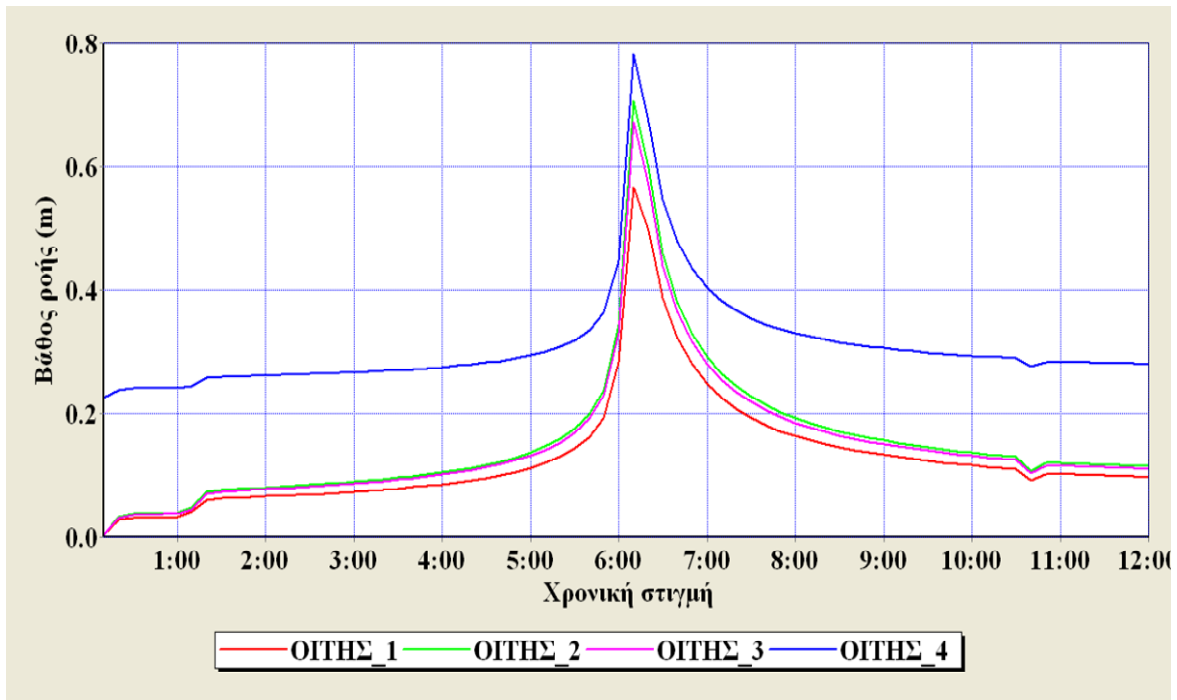
Ο αγωγός της οδού Οίτης αποτελείται από 4 επιμέρους τμήματα. Όλα εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα που σημαίνει ότι η διάμετρος τους είναι από 1.10 και πάνω. Στο φρεάτιο OT-4 αποχετεύεται η λεκάνη I_ΟΙΤΗΣ εκτάσεως 11.033 ha, στο φρεάτιο OT-3 αποχετεύεται η λεκάνη X εκτάσεως 2.07 ha και στα OT-2, OT-1 αποχετεύονται οι λεκάνες VIII_ΟΙΤΗΣ, II_ΟΙΤΗΣ εκτάσεων 0.498 ha και 0.236 ha. Σε κάθε φρεάτιο αποχετεύεται και μια νέα λεκάνη, επομένως αναμένουμε αύξηση των παροχών προς τα κατάντη. Στον Πίνακα 5.6 φαίνονται οι παροχές αιχμής, η χρονική στιγμή εμφάνισής τους και οι μέγιστες ταχύτητες για τον αγωγό της οδού Οίτης, για $T = 25$ έτη και $d = 12$ h.

Πίνακας 5.6: Υδραυλικά μεγέθη του αγωγού της οδού Οίτης την χρονική στιγμή της αιχμής γεγονότος βροχόπτωσης 12 ωρών.

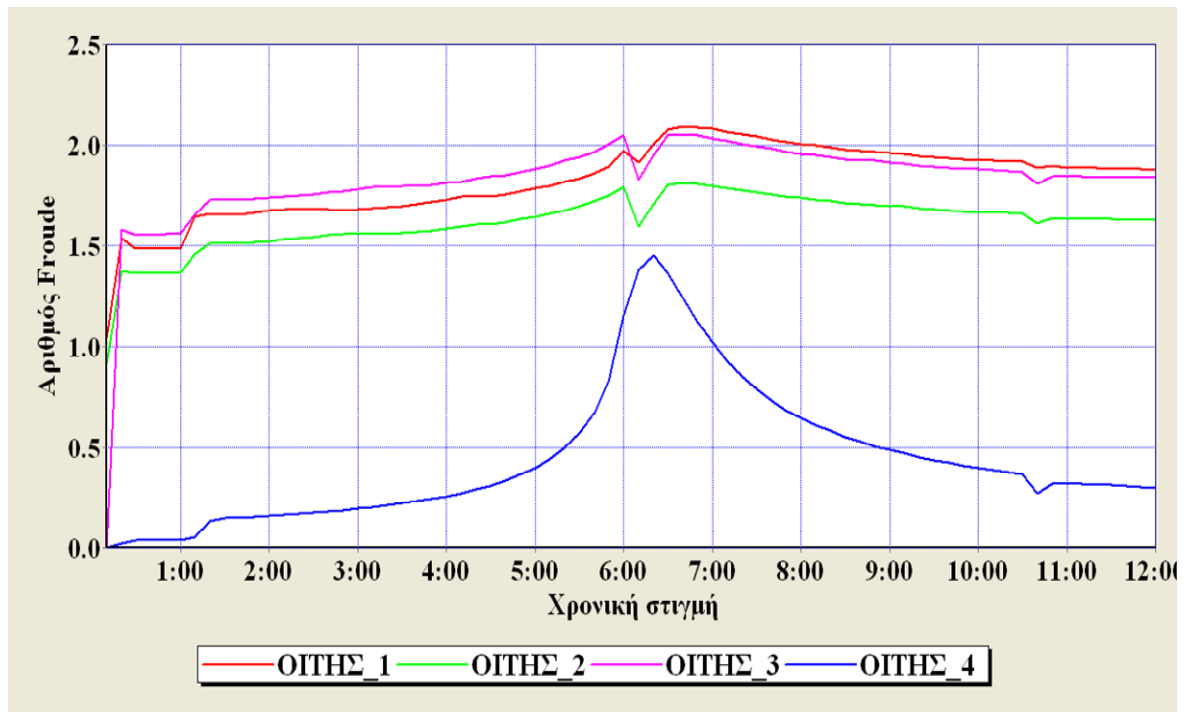
Τμήμα αγωγού	Q_{\max} (m ³ /s)	Χρονική στιγμή εμφάνισης (h:min)	Μέγιστη Ταχύτητα (m/s)	Μέγιστο ποσοστό πλήρωσης
ΟΙΤΗΣ_1	1.993	6:10	4.03	0.52
ΟΙΤΗΣ_2	2.533	6:10	3.91	0.65
ΟΙΤΗΣ_3	2.654	6:10	4.33	0.61
ΟΙΤΗΣ_4	2.694	6:10	3.69	0.72

Στον παραπάνω Πίνακα παρατηρούμε ότι η παροχή αιχμής εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 6:10 ενώ η μέγιστη ταχύτητα στο αγωγό φτάνει τα 4.33 m/s στο τμήμα ΟΙΤΗΣ_3. Το μεγαλύτερο ποσοστό πλήρωσης εμφανίζεται στο τελευταίο τμήμα του αγωγού και ισούται με 0.72. Στα παρακάτω σχήματα, που παρήχθησαν από το πρόγραμμα ύστερα από το τρέξιμο

της εφαρμογής, βλέπουμε πως μεταβάλλονται το βάθος ροής και ο αριθμός Froude καθ' όλη την διάρκεια του πλημμυρικού γεγονότος.



Σχήμα 5.68:Μεταβολή του βάθους ροής σε τμήματα του αγωγού της οδού Οίτης, για γεγονός βροχόπτωσης 12 ωρών.



Σχήμα 5.69:Μεταβολή του αριθμού Froude σε τμήματα του αγωγού της οδού Οίτης για γεγονός βροχόπτωσης 12 ωρών.

Στο Σχήμα 5.68 παρατηρούμε ότι το βάθος ροής στον αγωγό OITHS_4, είναι μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα βάθη στους ανάντη αγωγούς, καθ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου. Αυτό είναι

λογικό αφού το βάθος ροής έχει άμεση σχέση με την παροχή Q , που στο τελευταίο τμήμα του αγωγού είναι αυξημένη, λόγω του ότι εκεί συγκεντρώνεται ο συνολικός όγκος του νερού που ρέει στα ανάντη τμήματα, πριν καταλήξει στον βασικό συλλεκτήρα. Ακόμη, βλέπουμε ότι ισχύει $Fr > 1$, καθ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου, για τα τρία πρώτα τμήματα του αγωγού που σημαίνει ότι η ροή σε αυτά είναι υπερκρίσιμη. Στον αγωγό ΟΙΤΗΣ_4 όμως, ισχύει $Fr > 1$ μόνο μεταξύ 6^{ης} και 7^{ης} ώρας, ενώ τις υπόλοιπες ώρες $Fr < 1$ που σημαίνει ότι η ροή είναι κατά κύριο λόγο υποκρίσιμη. Στα τμήματα ΟΙΤΗΣ_1, ΟΙΤΗΣ_2, ΟΙΤΗΣ_3 είναι μόνιμα $y < y_c$, αφού ο αριθμός Froude σε αυτά δεν υπερβαίνει ποτέ την τιμή 1. Συνεπώς, από το τμήμα ΟΙΤΗΣ_1 στο τμήμα ΟΙΤΗΣ_2 και από το τμήμα ΟΙΤΗΣ_2 στο τμήμα ΟΙΤΗΣ_3 η ροή δεν παρουσιάζει μεταβολή. Η μετάβαση από το τμήμα ΟΙΤΗΣ_3 στο τμήμα ΟΙΤΗΣ_4 είναι ομαλή μόνο μεταξύ 3^{ης} και 4^{ης} ώρας, όπου και στα δυο τμήματα η ροή είναι υπερκρίσιμη. Τις υπόλοιπες ώρες του πλημμυρικού γεγονότος, μεταβαίνοντας από τον αγωγό ΟΙΤΗΣ_3 στον αγωγό ΟΙΤΗΣ_4, η ροή από υπερκρίσιμη γίνεται υποκρίσιμη και άρα παρουσιάζεται υδραυλικό άλμα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα, πέρα από τα παραπάνω διαγράμματα, παρέχει και σε μορφή πινάκων τα παραπάνω μεγέθη. Εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητα αυτή, μπορούμε να γνωρίζουμε κάθε χρονική στιγμή το αριθμό Froude και, την ίδια χρονική στιγμή, το βάθος και την ταχύτητα ροής με ακρίβεια χιλιοστού. Συνεπώς, για τους αγωγούς που ο αριθμός Froude λαμβάνει την τιμή 1, μπορούμε να προσδιορίσουμε τα κρίσιμα χαρακτηριστικά ροής (y_c , V_c), που μέχρι τώρα ο προσδιορισμός τους ήταν προσεγγιστικός και απατούσε χρόνο. Στο παράδειγμά μας ο αριθμός Froude λαμβάνει την τιμή 1 μόνο στο τμήμα ΟΙΤΗΣ_4. Στο τμήμα αυτό λοιπόν θα προσδιορίσουμε το κρίσιμο βάθος y_c και την κρίσιμη ταχύτητα ροής V_c . Προκειμένου να πετύχουμε την τιμή $Fr = 1$, μειώσαμε δραματικά το χρονικό βήμα καταγραφής των αποτελεσμάτων από τα 10 min στα 10 s. Γίνεται αντιληπτό ότι από τρέξιμο της εφαρμογής βροχόπτωσης 12 ωρών, με χρονικό βήμα 10 s έχουμε τεράστιο όγκο αποτελεσμάτων, για την ακρίβεια έχουμε $(12 \times 3600) / 10 = 4320$ ομάδες αποτελεσμάτων. Επειδή είναι αδύνατο να παρουσιαστούν όλα αυτά, απομονώσαμε μόνο τα αποτελέσματα με αριθμό Froude από 0.95 έως 1.05. Προφανώς, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.69 αναφερόμαστε χρονικά λίγα λεπτά πριν την 6^η ώρα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7.

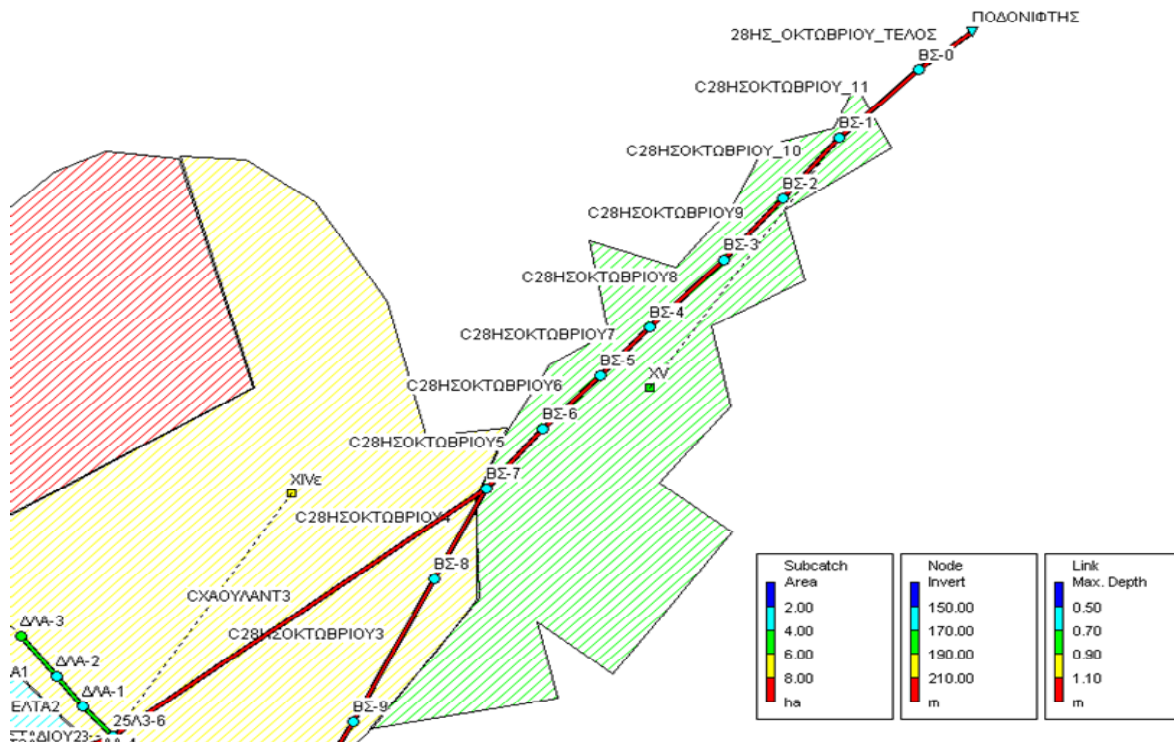
Πίνακας 5.7: Υδραυλικά μεγέθη του αγωγού ΟΙΤΗΣ_4 σε χρονικό διάστημα κατά το οποίο η ροή τείνει να γίνει κρίσιμη.

Χρονική στιγμή (H:Min:Sec)	Βάθος ροής (m)	Αριθμός Froude	Ταχύτητα ροής (m/s)
5:52:30	0.388	0.95	1.583
5:52:40	0.391	0.96	1.605
5:52:50	0.393	0.97	1.627
5:53:00	0.395	0.98	1.648
5:53:10	0.398	0.98	1.670
5:53:20	0.400	0.99	1.690
5:53:30	0.402	1.00	1.711
5:53:40	0.404	1.01	1.731
5:53:50	0.407	1.02	1.750
5:54:00	0.409	1.03	1.770
5:54:10	0.411	1.04	1.790
5:54:20	0.413	1.04	1.809
5:54:30	0.415	1.05	1.828

Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι η ροή στον αγωγό ΟΙΤΗΣ_4 γίνεται κρίσιμη τη χρονική στιγμή 5:53:30. Συνεπώς $y_c = 0.404$ m και $V_c = 1.731$ m/s. Γενικά, παρατηρούνται μεταβολές της τάξης του χιλιοστού στα βάθη ροής ενώ στις ταχύτητες παρουσιάζονται μεταβολές της τάξης του εκατοστού. Συγκεκριμένα, για $Fr \approx 1$, το βάθος ροής κυμαίνεται από 0.388 ως 0.415 m, ενώ η ταχύτητα από 1.583 ως 1.828 m/s.

5.4.4 Προσομοίωση πλημμυρικών φαινομένων διαφόρων περιόδων επαναφοράς στο τελευταίο τμήμα του βασικού συλλεκτήρα με κατάληξη στον Ποδονίφτη.

Στο σημείο αυτό, θα παρακολουθήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του δυαδικού συστήματος αποχέτευσης, στο τελευταίο τμήμα του βασικού συλλεκτήρα που βρίσκεται επί της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου. Το κομμάτι αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5.70.



Σχήμα 5.70: Αναπαράσταση τμήματος βασικού συλλεκτήρα, οδού 28^{ης} Οκτωβρίου.

Οι αγωγοί των οποίων θα μελετήσουμε την υδραυλική συμπεριφορά, είναι 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8, 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9, 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ10, 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ11. Παρατηρούμε ότι όλοι οι αγωγοί της 28^{ης} Οκτωβρίου απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, που σημαίνει ότι η μέγιστη διάστασή τους είναι πάνω από 1.10 m, ενώ το βάθος του πυθμένα των φρεατίων υδροσυλλογής βρίσκεται μεταξύ 150 και 170 m. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι για τα πρώτα τέσσερα τμήματα, λειτουργούν δύο αγωγοί παράλληλοι, ένας υπόγειος και ένας επιφανειακός αντίστοιχα. Στο πρόγραμμα συμβολίσαμε τους υπόγειους αγωγούς με την ονομασία της οδού στην οποία κείνται και τους επιφανειακούς αγωγούς με την ίδια ονομασία και ένα C μπροστά. Ωστόσο, στο Σχήμα 5.70, φαίνονται μόνο οι επιφανειακοί αγωγοί της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου, ενώ οι υπόγειοι βρίσκονται ακριβώς την ίδια θέση αλλά παράλληλα μετατοπισμένοι προς τα κάτω. Οι τιμές των μετατοπίσεων έχουν προσδιοριστεί στον Πίνακα 4.7 του προηγούμενου κεφαλαίου. Ακόμη, να σημειωθεί ότι, ενώ το αποχετευτικό σύστημα είναι παντού δυαδικό (παράλληλοι αγωγοί), το πρόγραμμα απαιτεί την κατάληξη ενός μόνο αγωγού στο σημείο εκβολής. Για το λόγο αυτό, ενώ σύμφωνα με την μελέτη το αποχετευτικό δίκτυο τελειώνει στο τμήμα 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ11, εμείς θεωρήσαμε ως τελευταίο τμήμα έναν εικονικό αγωγό, τον αγωγό 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_ΤΕΛΟΣ ο οποίος συνδέεται με τον 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ11 και έχει το ίδιο μήκος αλλά διπλάσια διατομή, δηλαδή 7.00x4.00. Ουσιαστικά, με την εισαγωγή του εικονικού αγωγού και τον διπλασιασμό της διατομής του,

προσεγγίσαμε το δυαδικό σύστημα στο τμήμα που δεν επιτρέπεται η ταυτόχρονη λειτουργία επιφανειακού και υπόγειου αγωγού. Τέλος, σαν τελικά υδραυλικά μεγέθη στον Ποδονίφτη, λάβαμε τις τιμές που προέκυψαν από τον αγωγό 28^{HS}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11, αφού ο 28^{HS}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_ΤΕΛΟΣ είναι βοηθητικός δημιουργήθηκε απλά για την ορθή λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος.

Παρακάτω θα παρακολουθήσουμε την υδραυλική αλληλεπίδραση υπογείων και επιφανειακών αγωγών με την πάροδο των χρόνων. Στον Πίνακα 5.8, παρουσιάζονται διάφορα υδραυλικά μεγέθη σε αγωγούς της οδού 28ης Οκτωβρίου, όπως αυτά μεταβάλλονται με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς, για γεγονός βροχόπτωσης διάρκειας 6 ωρών.

Πίνακας 5.8: Υδραυλικά μεγέθη στον αγωγό της οδού 28^{HS} Οκτωβρίου για διάφορα T , κατά την αιχμή πλημμυρικού γεγονότος, διάρκειας 6 ωρών.

T (έτη)	Αγωγός	Παροχή (m ³ /s)	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
25	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	36.002	5.42	3:13	0.95
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	35.996	5.52	3:13	0.93
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	36.269	5.99	3:13	0.87
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11	36.735	8.81	3:13	0.60
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	0.000	0.00	0:00	0.00
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	0.000	0.00	0:00	0.00
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	0.000	0.00	0:00	0.00
50	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	38.519	5.50	3:21	1.00
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	38.544	5.59	3:22	0.99
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	39.399	6.15	3:21	0.92
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11	39.394	8.93	3:22	0.63
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	0.000	0.00	0:00	0.00
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	0.000	0.00	0:00	0.00
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	0.000	0.00	0:00	0.00
100	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	42.645	6.09	3:17	1.00
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	45.945	6.56	3:23	1.00
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	46.208	6.60	3:23	1.00
	28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11	47.996	9.46	3:23	0.73
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	9.175	2.47	3:23	0.17
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	0.251	0.97	3:23	0.04
	C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	0.000	0.00	0:00	0.00
C28ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11	0.000	0.00	0:00	0.00	

Πίνακας 5.8(συνέχεια)

T (έτη)	Αγωγός	Παροχή (m ³ /s)	Ταχύτητα ροής (m/s)	Χρονική Στιγμή	Ποσοστό Πλήρωσης
1000	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	43.060	6.15	3:09	1.00
	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	46.518	6.64	3:11	1.00
	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	50.113	7.16	3:33	1.00
	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11	61.360	11.07	3:13	0.99
	C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	64.869	5.35	3:13	0.46
	C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	60.316	5.94	3:13	0.39
	C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	61.802	6.12	3:13	0.40
C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8_11	54.669	7.26	3:13	0.31	
10000	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	42.412	6.06	3:03	1.00
	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	46.330	6.62	3:05	1.00
	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	50.199	7.17	3:42	1.00
	28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11	61.129	11.07	3:32	1.00
	C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	112.442	6.41	3:09	0.63
	C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	107.179	7.59	3:09	0.55
	C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10	111.813	7.55	3:09	0.55
C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8_11	110.160	7.95	3:10	0.59	

Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα, μπορούμε να σχολιάσουμε τα εξής:

- Για $T = 25$ και 50 χρόνια λειτουργεί μόνο το υπόγειο δίκτυο, παρόλο που σε τμήματα του αγωγού το ποσοστό πλήρωσης προσεγγίζει ή φτάνει την μονάδα. Συγκεκριμένα, για $T = 25$ έτη, η αιχμή της πλημμύρας εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 3:13 και είναι αξιοσημείωτο ότι οι αγωγοί 28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8, 28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9 εμφανίζουν ποσοστά πλήρωσης 0.95 και 0.93 αντίστοιχα, δηλαδή έχουν σχεδόν γεμίσει. Για $T = 50$ έτη, η αιχμή της πλημμύρας εμφανίζεται λίγο αργότερα, τις χρονικές στιγμές 3:21 και 3:22 και τα παραπάνω ποσοστά πλήρωσης αυξάνονται σε 1.00 και 0.99 αντίστοιχα.
- Οι τιμές των ταχυτήτων εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές μετά από βροχή σχεδιασμού 25 και 50 ετών και κυμαίνονται από 5.42 ως 8.81 και 5.50 ως 8.93 m/s αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι για $T = 25$ έτη, στο τμήμα 28^{ΗΣ}_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9 η μέγιστη τιμή της ταχύτητας αγγίζει τα 8.81 m/s, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα σύμφωνα με τις προδιαγραφές αποχέτευσης ομβρίων είναι 6 m/s. Ωστόσο, εφαρμόζοντας στο σύστημα, την βροχή μελέτης που είναι πιο ήπια, για την ίδια περίοδο επαναφοράς και την ίδια διάρκεια, η τιμή τη ταχύτητας στο συγκεκριμένο τμήμα προέκυψε ίση με 5.29 m/s. Συνεπώς, είναι ορθή η διαστασιολόγηση του αγωγού με βάση την όμβρια καμπύλη της μελέτης, ενώ με βάση την όμβρια των 25 ετών θα έπρεπε στο συγκεκριμένο τμήμα να αυξηθεί η διάμετρος του αγωγού.
- Για $T = 100$ έτη και λίγα λεπτά μετά το πρώτο τρίωρο της βροχόπτωσης, παρατηρούμε ότι τα τρία πρώτα τμήματα του υπόγειου συστήματος έχουν φτάσει στα μέγιστα ποσοστά πλήρωσης. Εδώ βλέπουμε ότι ξεκινάει να λειτουργεί και το επιφανειακό αποχετευτικό

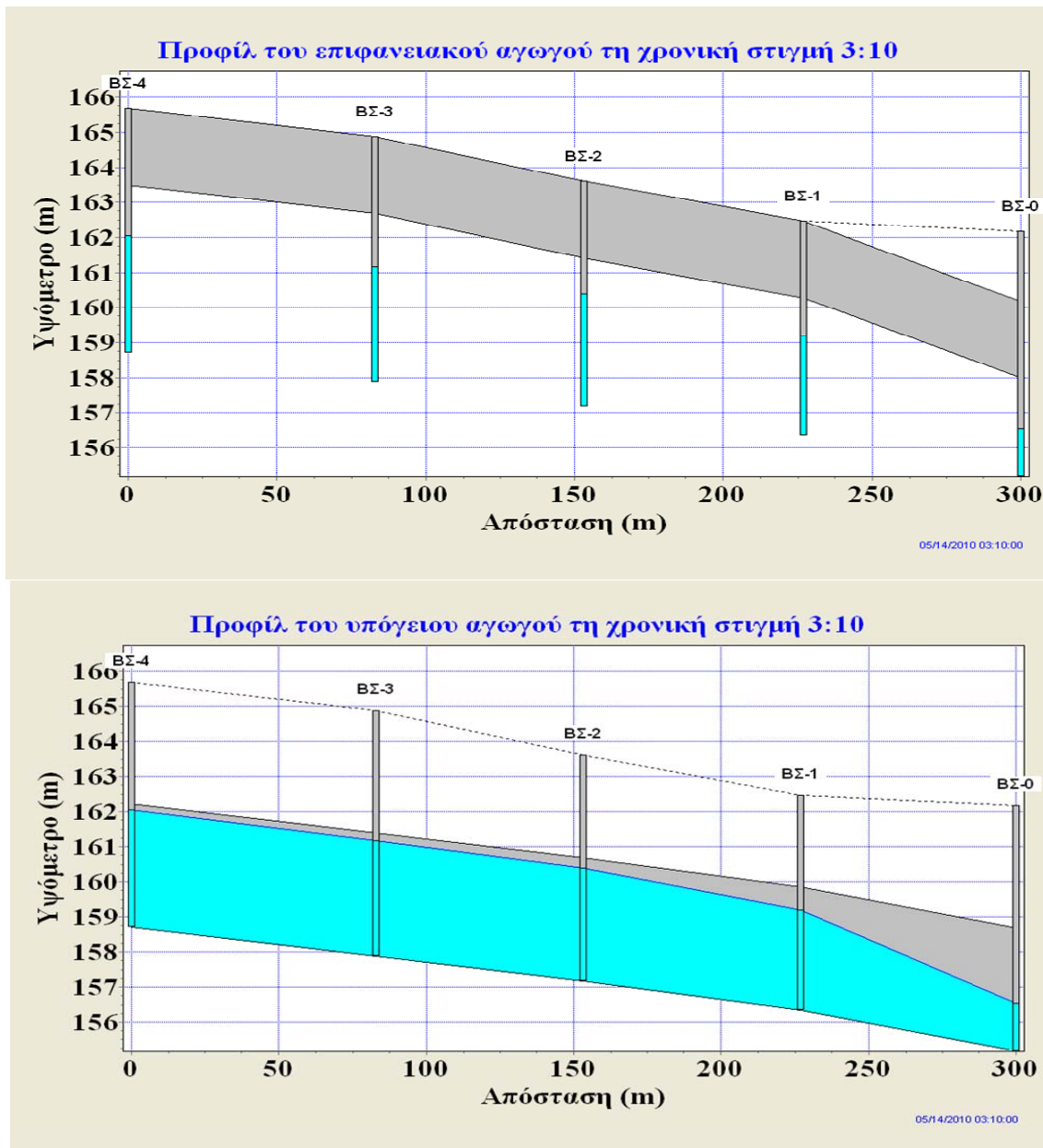
δίκτυο στα δύο πρώτα τμήματα, που σημαίνει ότι το νερό έφτασε στο επίπεδο του δρόμου και πραγματοποιήθηκε ροή. Ο αγωγός C28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8 εμφανίζει μέγιστη παροχή 9.175 m/s και μέγιστο ποσοστό πλήρωσης 0.17, ενώ για τον C28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9, η μέγιστη παροχή είναι 0.251 m/s και το μέγιστο ποσοστό πλήρωσης 0.04 τη χρονική στιγμή 3:23. Στα επόμενα τμήματα των επιφανειακών αγωγών όλες οι τιμές των υδραυλικών μεγεθών εμφανίζουν μηδενικές τιμές, που σημαίνει ότι η γραμμή ενέργειας βρίσκεται κάτω από το έδαφος.

- Οι τιμές των μέγιστων ταχυτήτων για $T = 100$ έτη κυμαίνονται από 6.09 έως 9.46 m/s στο υπόγειο δίκτυο. Επιπλέον, στο επιφανειακό δίκτυο η μέγιστη τιμή της ταχύτητας αγγίζει τα 2.47 m/s στον C28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8 και τα 0.97 m/s στον C28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9.
- Για $T = 1000$ έτη, το επιφανειακό δίκτυο λειτουργεί και στα τέσσερα τμήματα του αγωγού, αφού έχουμε ραγδαία αύξηση της παροχής. Στους υπόγειους αγωγούς οι μέγιστες τιμές των παροχών κυμαίνονται από 43.060 m³/s έως 61.360 m³/s, ενώ στους επιφανειακούς από 54.669 m³/s έως 64.869 m³/s. Οι υπόγειοι αγωγοί υπερφορτίζονται και υπερχειλίζουν, ενώ τα μέγιστα ποσοστά πλήρωσης των επιφανειακών αγωγών κυμαίνονται από 0.31 έως 0.46. Ποσοστό πλήρωσης 0.46 εμφανίζει ο αγωγός C28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8, ο οποίος εμφανίζει και την μεγαλύτερη τιμή της παροχής
- Μετά από πλημμυρικό γεγονός 10000 ετών, οι μέγιστες παροχές στους υπόγειους αγωγούς εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές με τις μέγιστες παροχές των 1000 ετών. Αυτό συμβαίνει αφού και στις δύο περιπτώσεις όλα τα τμήματα του αγωγού είναι υπερφορτισμένα και δεν υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω αύξησης. Ωστόσο, οι παροχές των επιφανειακών αγωγών, όπως είναι φυσικό, αυξάνονται. Κατά την αιχμή της πλημμύρας κυμαίνονται μεταξύ 107.179-112.442 m³/s. Ακόμη, αξιοσημείωτο είναι ότι κατά την αιχμή της πλημμύρας 10000 ετών, όλοι οι επιφανειακοί αγωγοί της οδού γεμίζουν κατά 60% περίπου.
- Οι μέγιστες ταχύτητες του νερού στους επιφανειακούς αγωγούς, για $T = 1000$ χρόνια κυμαίνονται μεταξύ 5.35 έως 7.26 m/s, ενώ για $T = 10000$ χρόνια από 6.41 ως 7.95. Γενικά, παρατηρούμε ότι οι μέγιστες ταχύτητες, εν αντιθέσει με τις μέγιστες παροχές, παρουσιάζουν μικρή μεταβολή από πλημμύρα 1000 ετών σε πλημμύρα 10000 ετών.
- Ενώ οι παροχές των υπογείων αγωγών αυξάνονται με την αύξηση των T , οι παροχές των επιφανειακών αγωγών μεταβάλλονται ανομοιόμορφα. Η αύξηση της παροχής προς τα κατάντη εξηγείται από το γεγονός ότι οδεύοντας προς τον Ποδονόφτη, στο φρεάτιο ΒΣ-1 (με το οποίο συνδέονται οι αγωγοί 28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10 και 28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11) αποχετεύεται επιπλέον η λεκάνη XV. Η αυξομείωση των παροχών των επιφανειακών αγωγών οφείλεται στο ότι μέρος του νερού της βροχόπτωσης εισέρχεται στα φρεάτια και μέρος ρέει επιφανειακά.

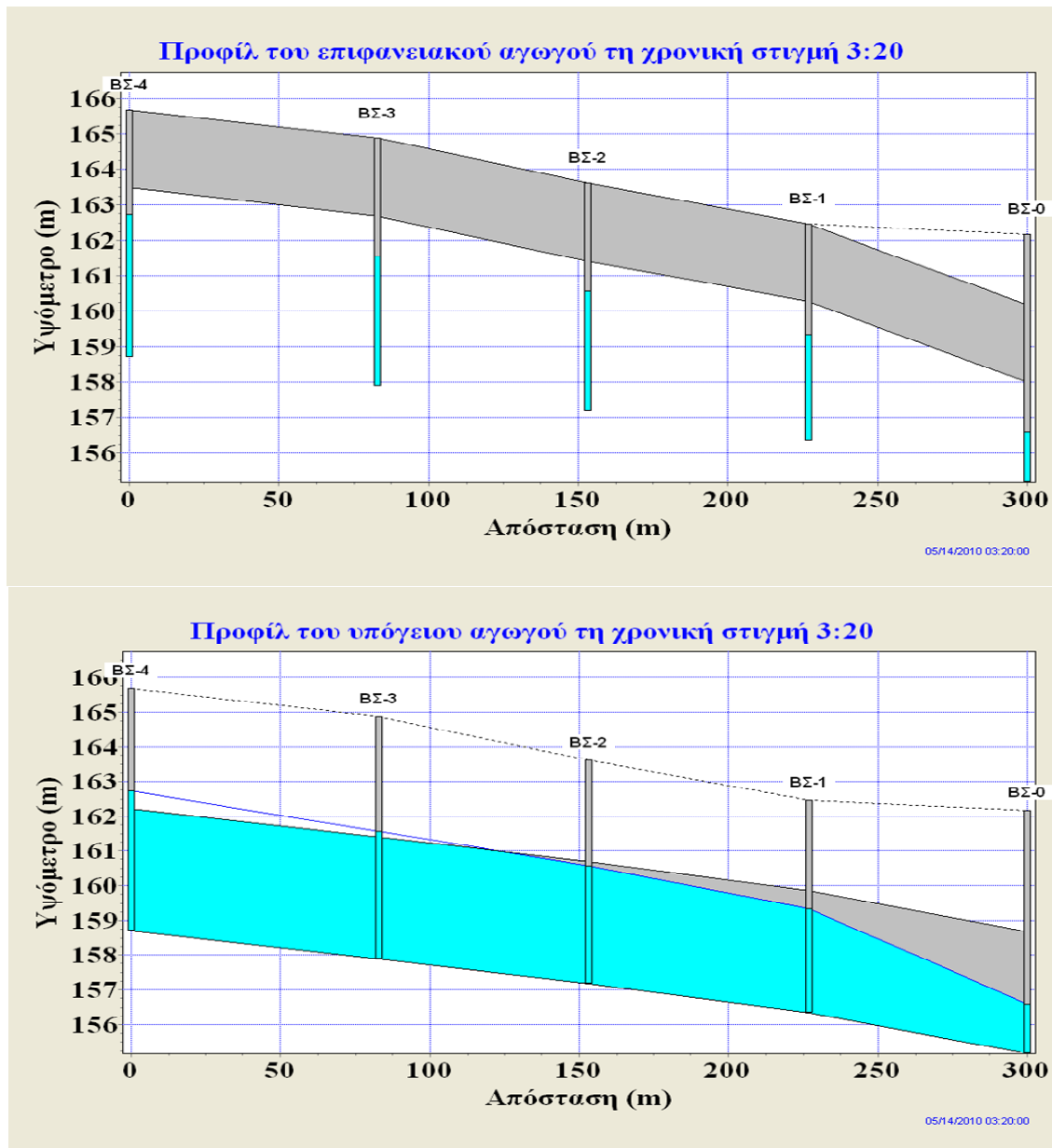
Στη συνέχεια, για καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του δικτύου, παραθέτουμε τα προφίλ των αγωγών του δυαδικού συστήματος αποχέτευσης, σε διάφορες χρονικές στιγμές και διάφορες περιόδους επαναφοράς κοντά στην αιχμή των πλημμυρικών γεγονότων.

Στα παρακάτω σχήματα αναπαρίσταται το δυαδικό σύστημα αποχέτευσης σε τμήμα του αγωγού της 28^{ης} Οκτωβρίου για $T = 50$ χρόνια. Παρατηρούμε ότι τη χρονική στιγμή 3:10 ο υπόγειος αγωγός, ειδικά στα τρία πρώτα τμήματα τείνει να γεμίσει. Το επόμενο δεκάλεπτο, η γραμμή ενέργειας βρίσκεται εξ ολοκλήρου και εν μέρει πάνω από την άντυγα του αγωγού, για τα τμήματα 28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8 και 28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9 αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει

ότι ο αγωγός στα τμήματα αυτά έχει υπερφορτιστεί και πλημμυρίζει χωρίς όμως το νερό να φτάνει στο έδαφος, αφού στον επιφανειακό αγωγό δεν υπάρχει ροή.

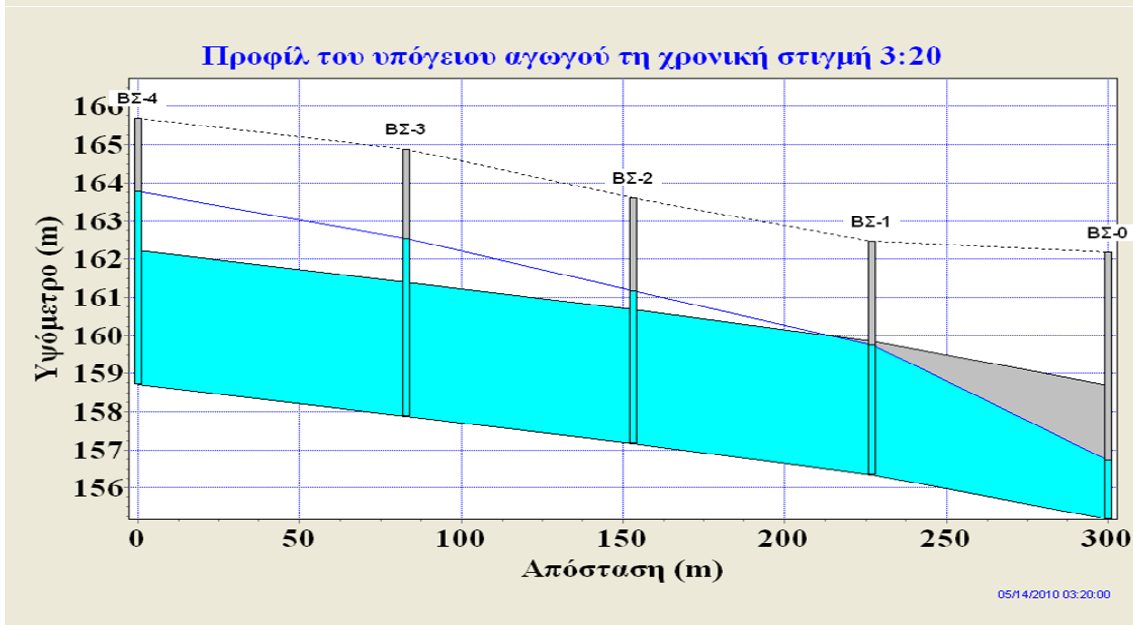
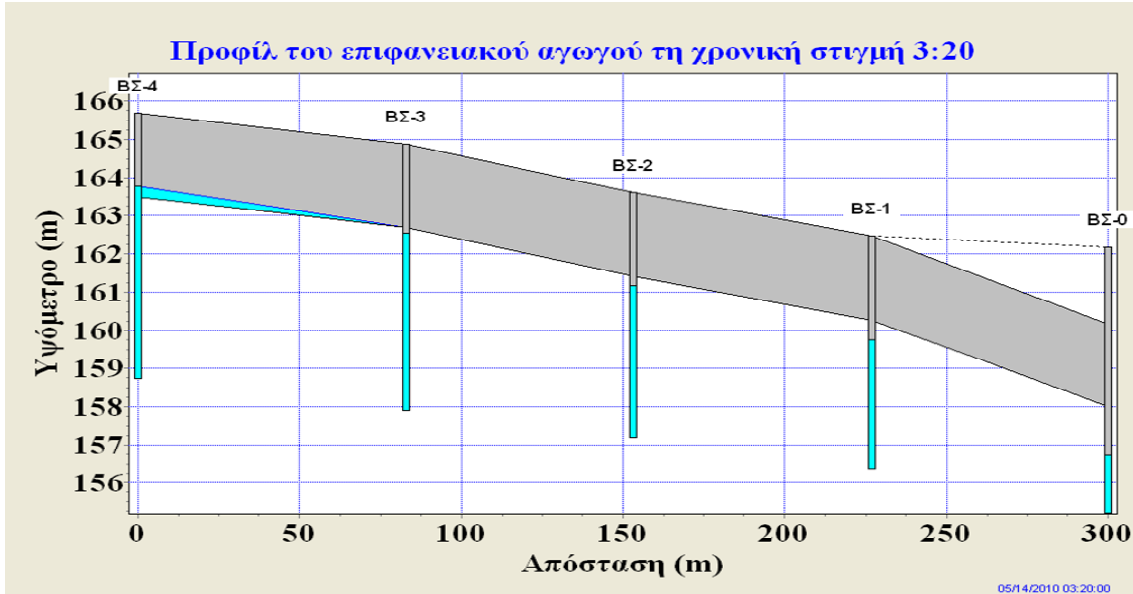


Σχήμα 5.71: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 50$ έτη, στον αγωγό της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:10

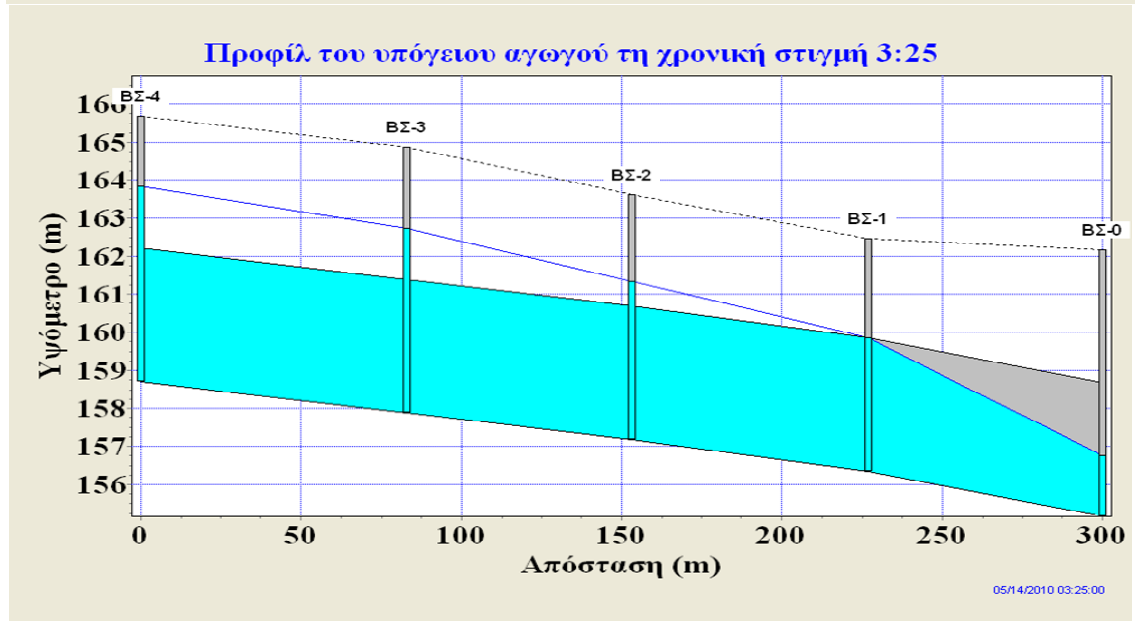
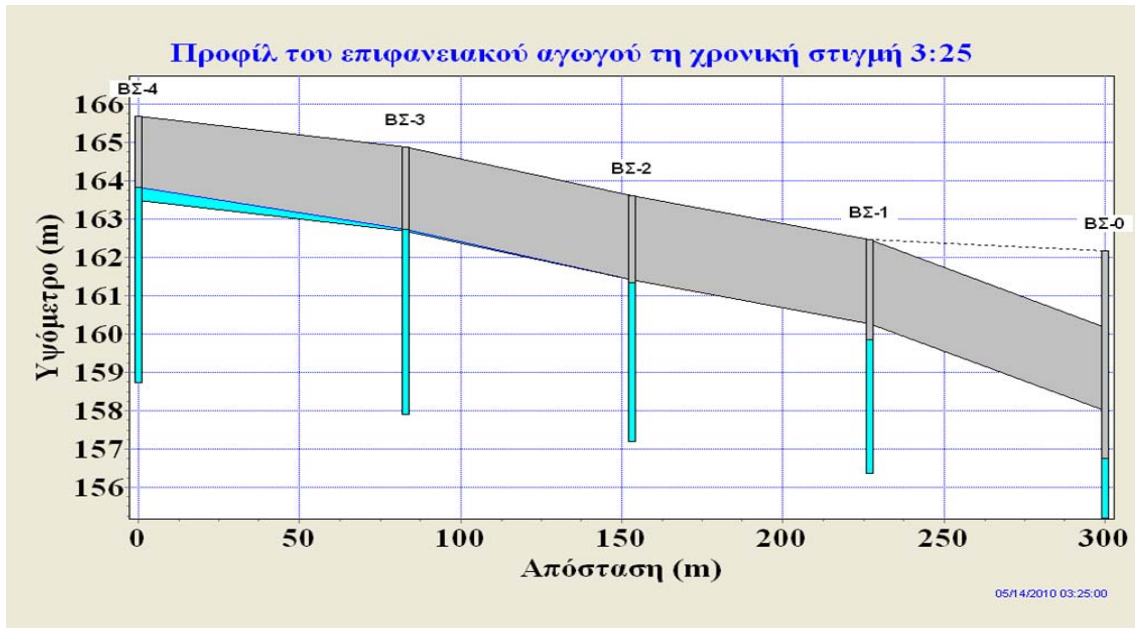


Σχήμα 5.72: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 50$ έτη στον αγωγό της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:20.

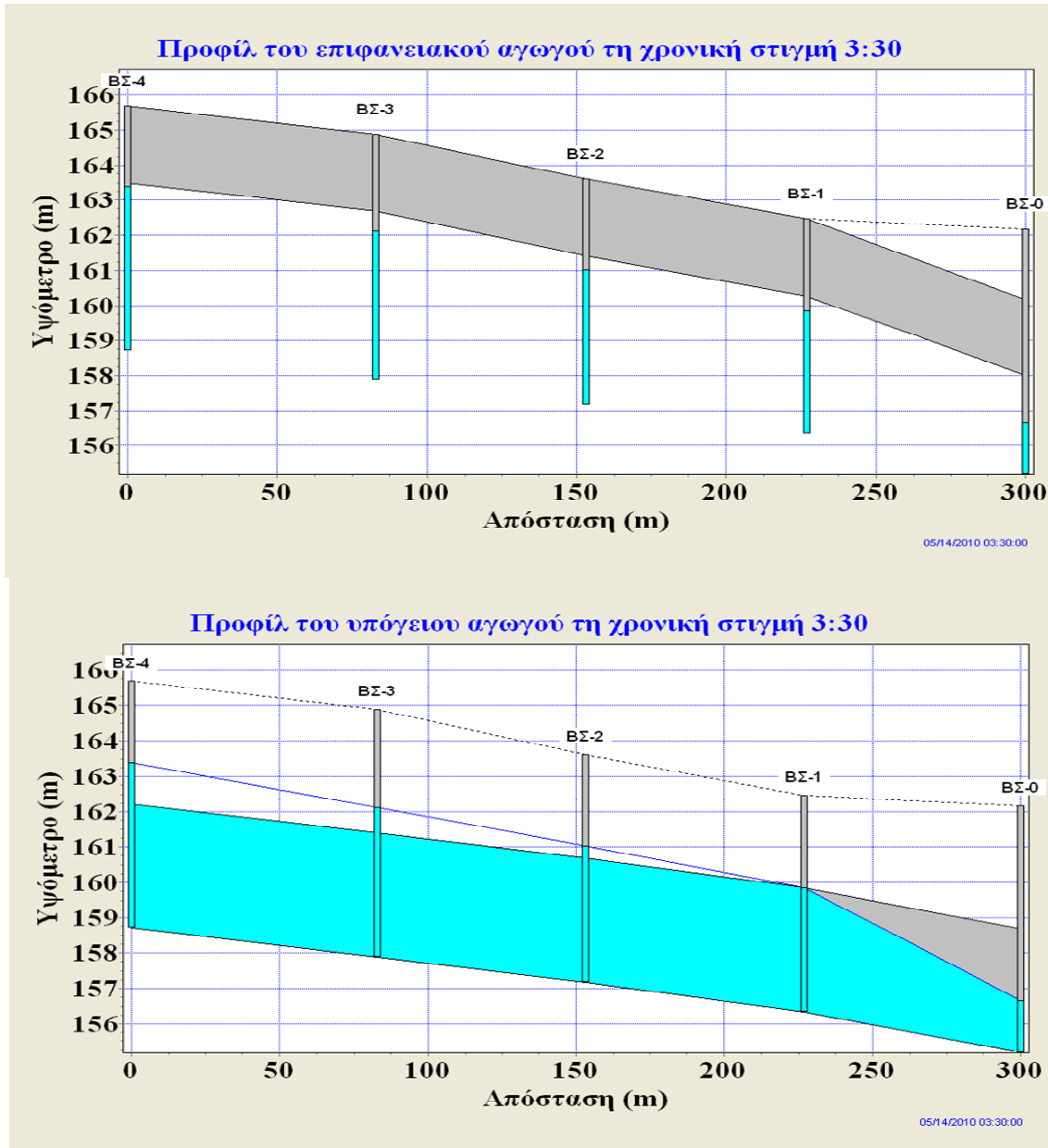
Στα σχήματα 5.73, 5.74 και 5.75 φαίνεται η μεταβολή της στάθμης του νερού τις χρονικές στιγμές 3:20, 3:25 και 3:30 για $T = 100$ χρόνια. Τη χρονική στιγμή 3:20, στα τρία πρώτα τμήματα, η γραμμή ενέργειας βρίσκεται πάνω από τον υπόγειο αγωγό και στο τμήμα C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8 το νερό έχει φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, το ύψος του νερού εκεί είναι σχετικά μικρό και σταδιακά μειώνεται ώσπου εισέρχεται στο φρεάτιο ΒΣ-3 και, έτσι, δεν εμφανίζεται ροή στα επόμενα τμήματα του επιφανειακού αγωγού. Ύστερα από 5 λεπτά, η στάθμη του νερού ανεβαίνει πάλι και το νερό ρέει, εκτός από τον C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8 και στον C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9. Προφανώς, βρισκόμαστε στην αιχμή της πλημμύρας. Όμως, στον επιφανειακό αγωγό C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9, το βάθος ροής είναι πολύ μικρό και σιγά σιγά μειώνεται ώσπου το νερό εισέρχεται στο φρεάτιο ΒΣ-2. Μετά από 5 λεπτά, το ύψος του νερού σε όλα τα φρεάτια εμφανίζεται αρκετά χαμηλότερο, ενώ δεν υπάρχει ροή στους επιφανειακούς αγωγούς. Αυτό σημαίνει ότι βρισκόμαστε σε στάδιο ύφεσης της πλημμύρας.



Σχήμα 5.73: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 100$ έτη στον αγωγό της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:20.



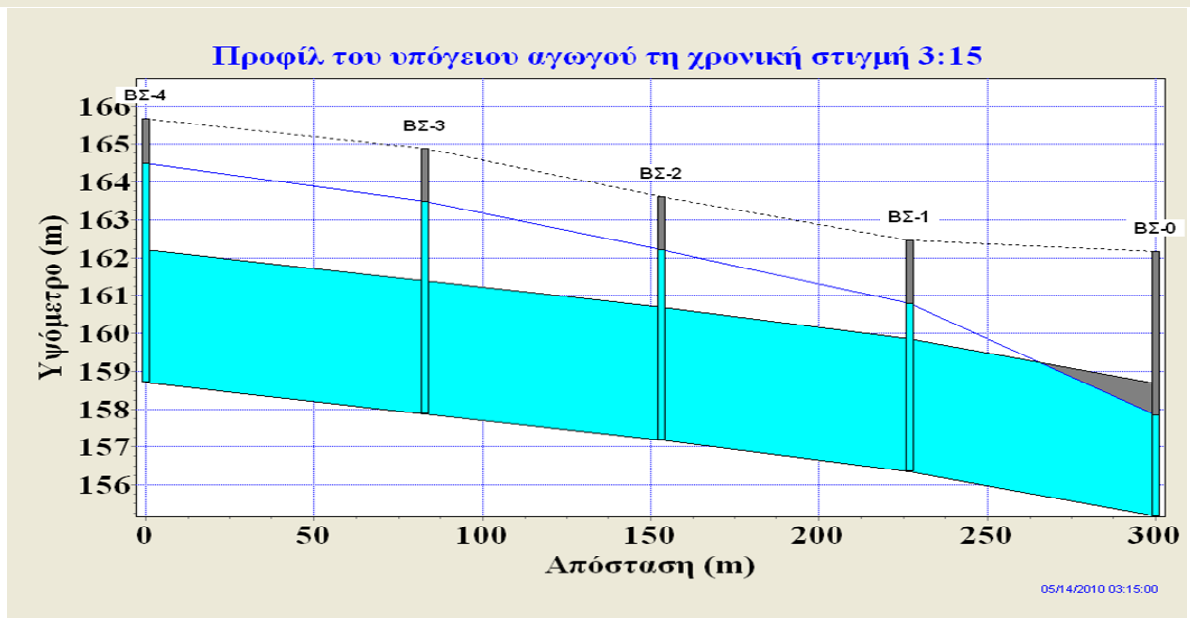
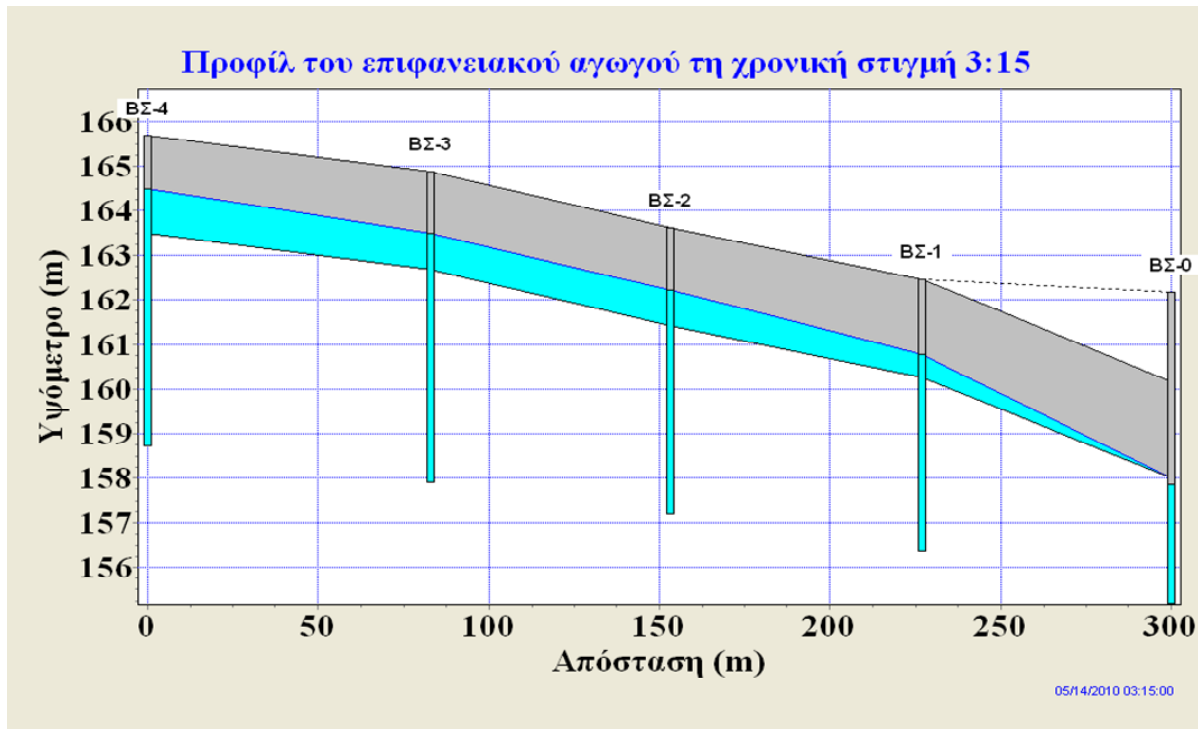
Σχήμα 5.74: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 100$ έτη στον αγωγό της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:25.



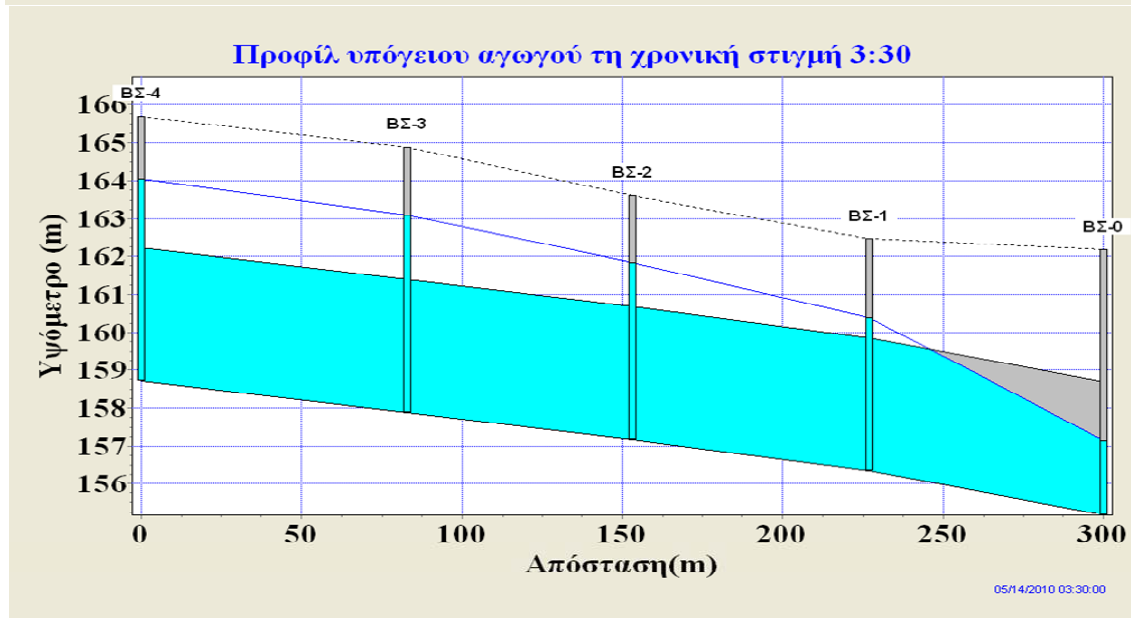
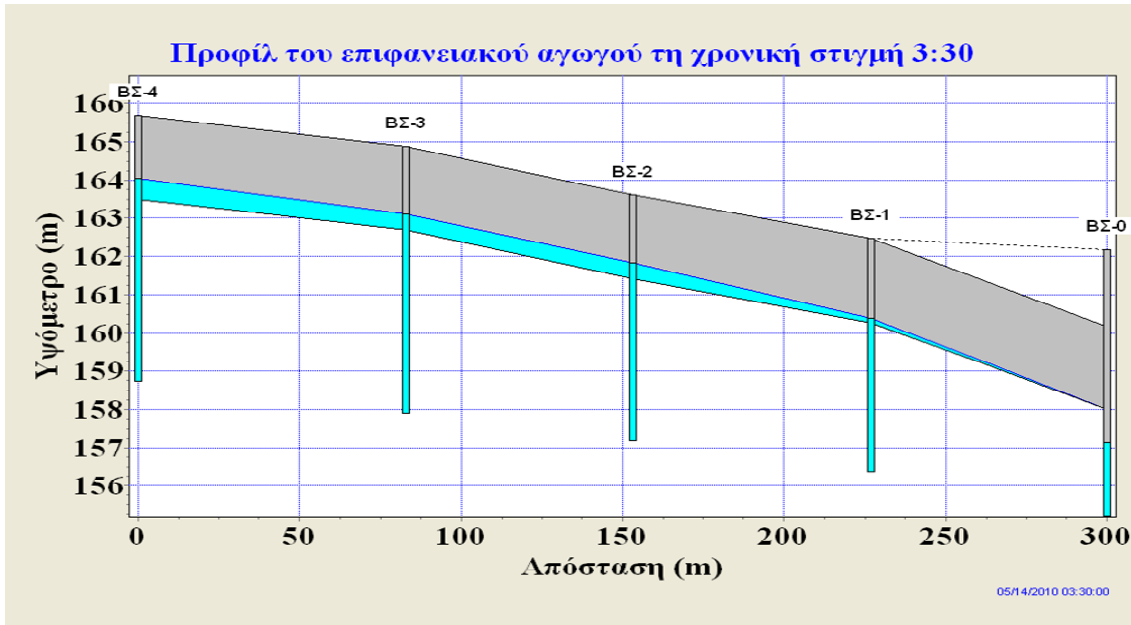
Σχήμα 5.75: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 100$ έτη στον αγωγό της οδού 28^{ης} Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:30

Στα επόμενα τρία σχήματα φαίνονται διάφορα στιγμιότυπα της λειτουργίας του δυαδικού αποχετευτικού δικτύου, για γεγονός βροχόπτωσης 1000 ετών. Τη χρονική στιγμή 3:15, το νερό έχει ξεπεράσει τη στέψη των φρεατίων και η γραμμή ενέργειας έχει φτάσει στο έδαφος. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 5.76, το βάθος ροής στα δύο πρώτα τμήματα του επιφανειακού αγωγού πλησιάζει το 1 m. Στα επόμενα τμήματα, το βάθος ροής σταδιακά μειώνεται, ώσπου στο τέλος του C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11 μηδενίζεται. Αυτή τη στιγμή, το νερό βρίσκεται στην στέψη του φρεατίου ΒΣ-0, δηλαδή ακριβώς κάτω από το επίπεδο του δρόμου. Το επόμενο τέταρτο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.77, η στάθμη του νερού έχει μειωθεί σχεδόν στο μισό στα τρία πρώτα τμήματα του επιφανειακού αγωγού. Και σε αυτή την περίπτωση, στο τέλος του C28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11, σταματάει η ροή στον επιφανειακό αγωγό, με την διαφορά ότι στο ΒΣ-0 το νερό βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα. Λίγα λεπτά αργότερα, τη χρονική στιγμή 3:45, δεν παρατηρείται ροή σε κανένα τμήμα του επιφανειακού αγωγού ενώ η

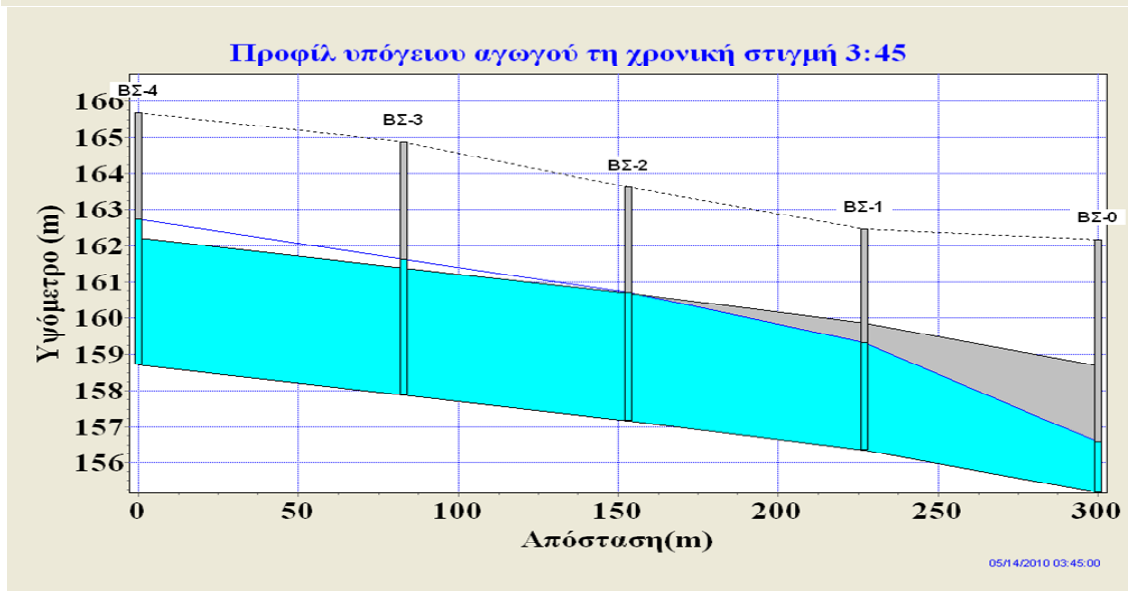
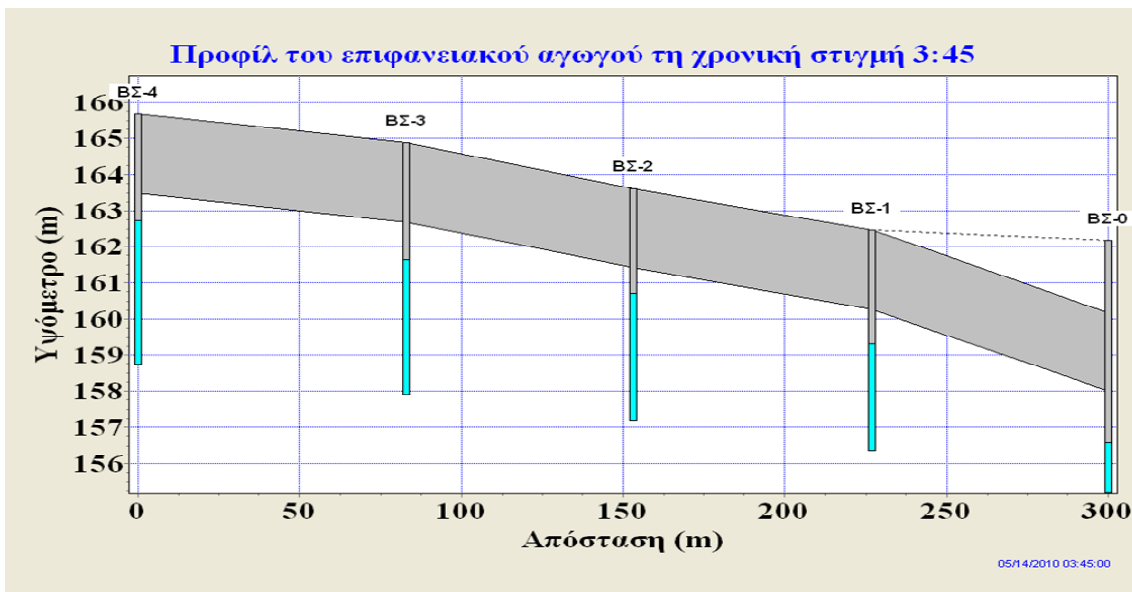
στάθμη του νερού σε όλα τα φρεάτια έχει πέσει αισθητά. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι η γραμμή ενέργειας στον 28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8 και 28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9 βρίσκεται λίγο πάνω από την άντληση του υπογείου αγωγού, ενώ στα τμήματα 28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_10 και 28ΗΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11, η γραμμή ενέργειας βρίσκεται μέσα στον υπόγειο αγωγό. Αυτό σημαίνει ότι τα δύο πρώτα τμήματα λειτουργούν υπό πίεση και τα δύο τελευταία με ελεύθερη επιφάνεια.



Σχήμα 5.76: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 1000$ έτη στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:15

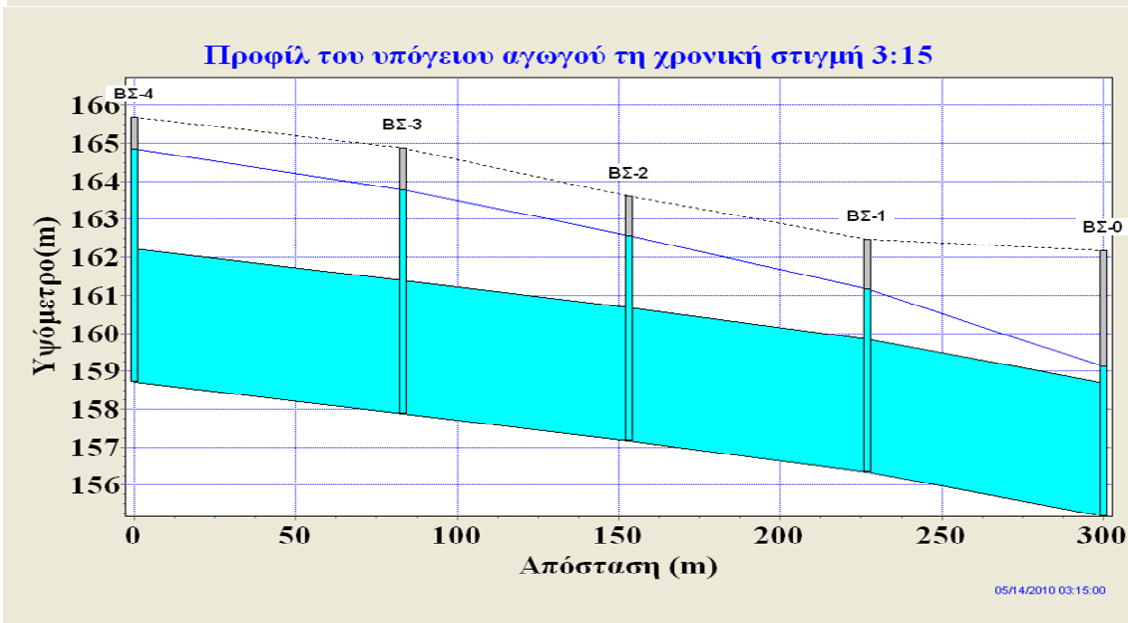
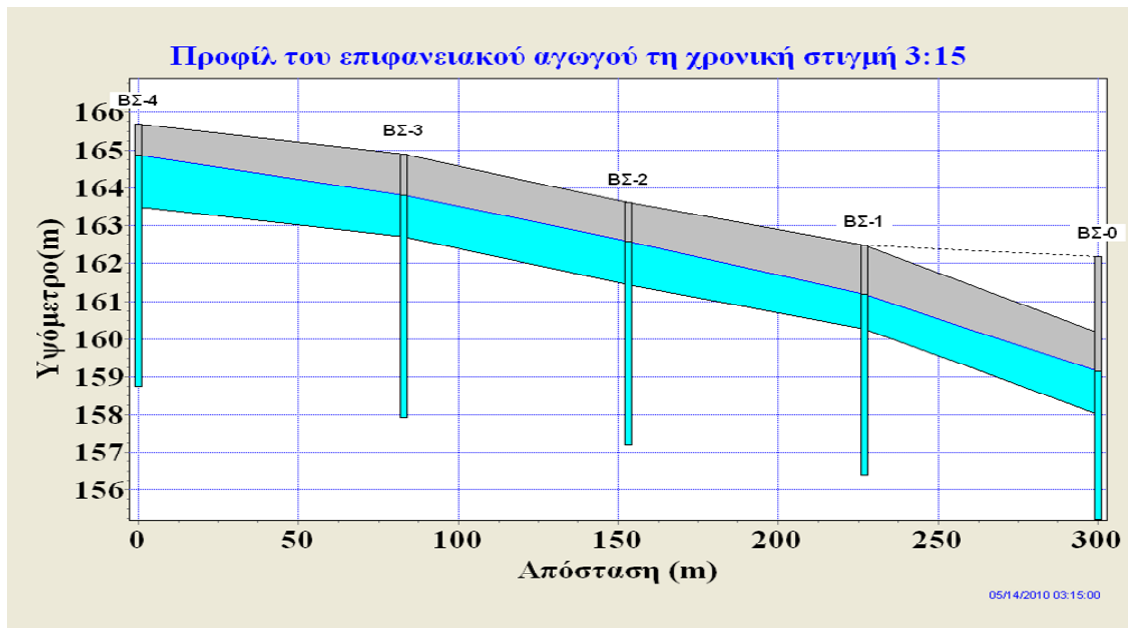


Σχήμα 5.77: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 1000$ έτη στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:30

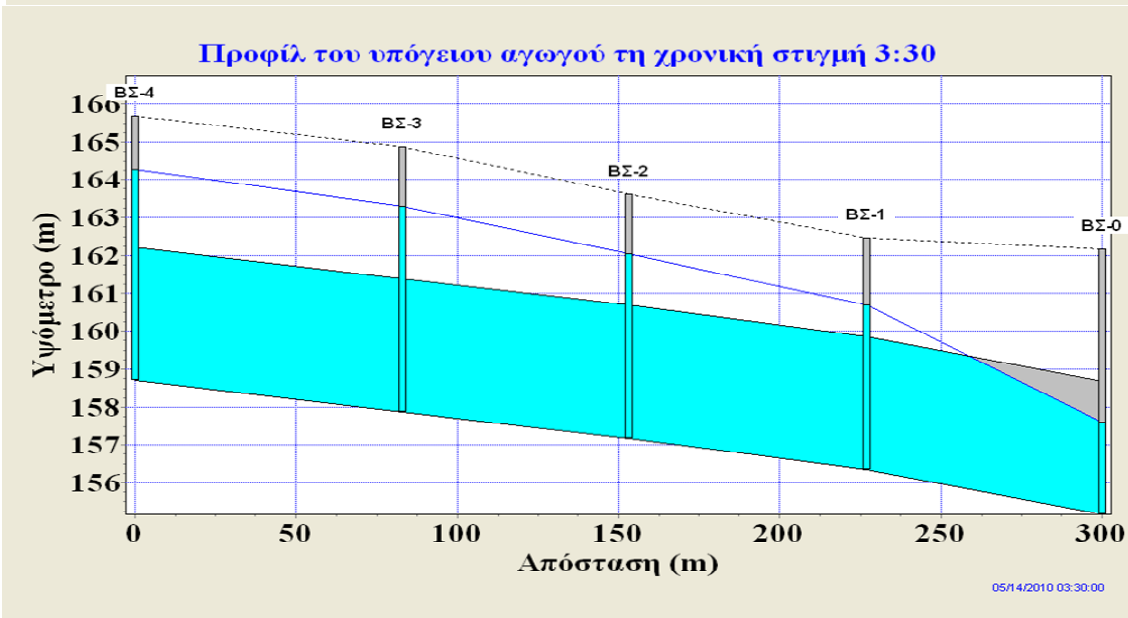
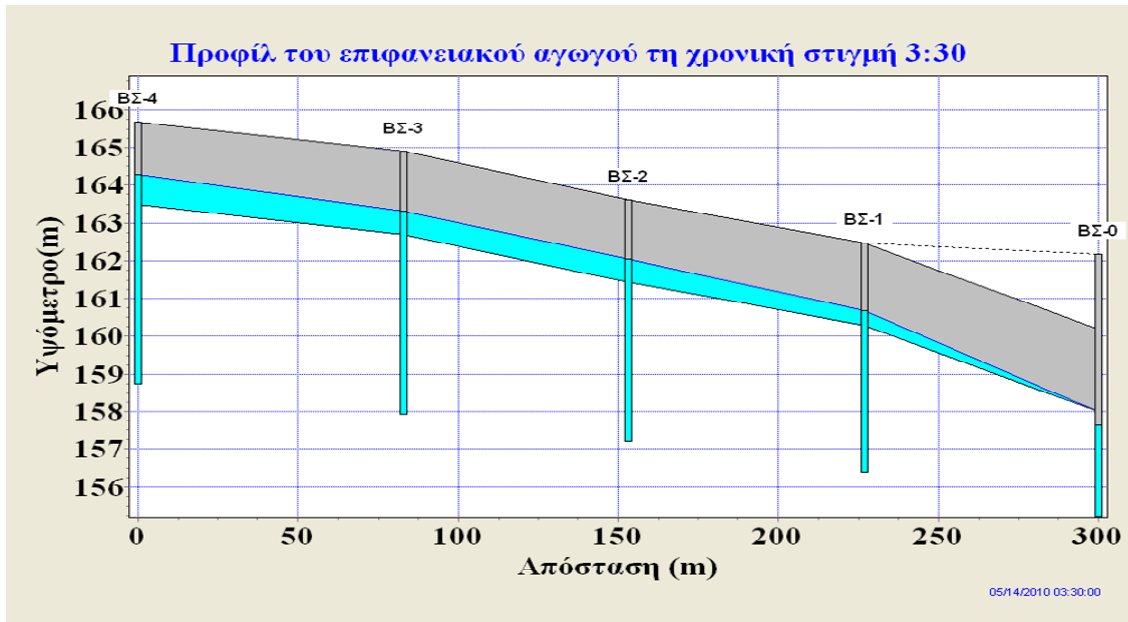


Σχήμα 5.78: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος μετά από 1000 έτη στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:45

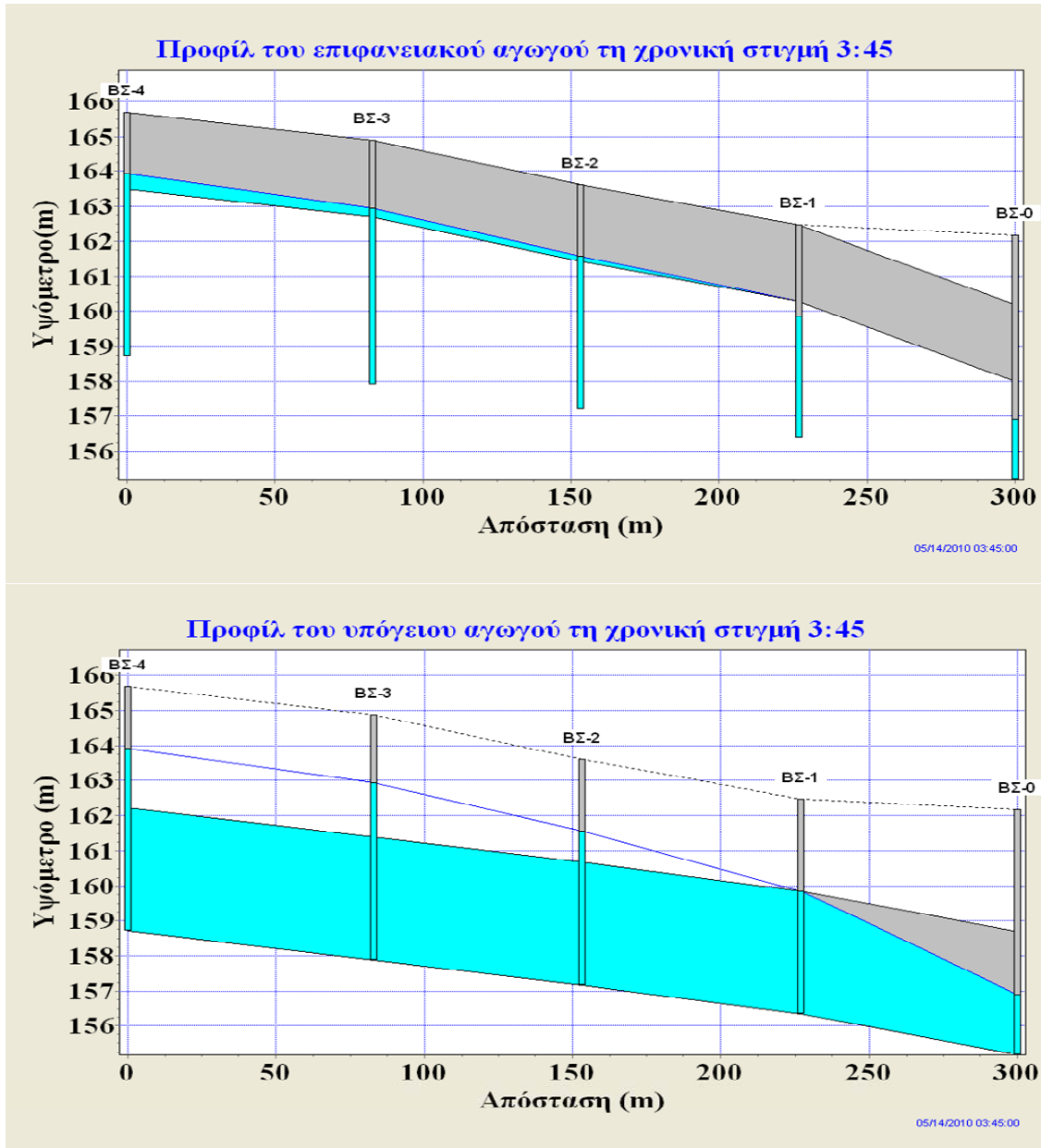
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται διάφορες φάσεις από τη λειτουργία του δυαδικού συστήματος αποχέτευσης για πλημμυρικό γεγονός 10000 ετών. Τη χρονική στιγμή 3:15, το νερό ρέει σε όλο το μήκος του επιφανειακού αγωγού σε ύψος που κυμαίνεται από σχεδόν 1.50 m στην αρχή έως 1 m στο τελευταίο τμήμα του. Λίγο αργότερα, τη χρονική στιγμή 3:30, η στάθμη του νερού έχει κατέβει αισθητά στα πρώτα τρία τμήματα του αγωγού, ενώ στο τελευταίο έχει μειωθεί τόσο ώστε τελικά εισέρχεται στο φρεάτιο BΣ-0. Στο Σχήμα 5.80 βλέπουμε, ότι στο BΣ-0, η στάθμη του νερού βρίσκεται λίγα εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του δρόμου. Τη χρονική στιγμή 3:45, το νερό ρέει με χαμηλό βάθος στα τρία πρώτα τμήματα του επιφανειακού αγωγού, ενώ ο C28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11 είναι άδειος. Αξιοσημείωτο ότι αυτή τη στιγμή, στο τελευταίο τμήμα η γραμμή ενέργειας πέφτει δραματικά με αποτέλεσμα ο υπόγειος 28HΣ_ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ_11 να μην εμφανίζει ολική πλήρωση.



Σχήμα 5.79: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 10000$ έτη στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:15



Σχήμα 5.80: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 10000$ έτη στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:30



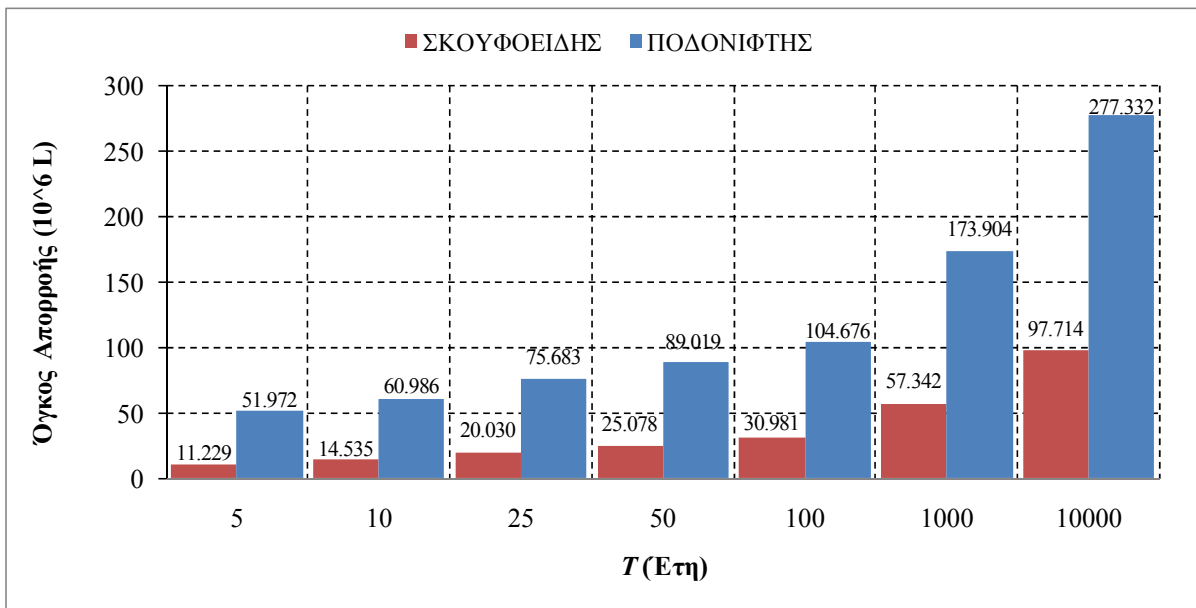
Σχήμα 5.81: Αναπαράσταση της λειτουργίας του δυαδικού συστήματος για $T = 10000$ έτη στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου τη χρονική στιγμή 3:45

5.4.5 Συνολικός όγκος νερού στο σύστημα

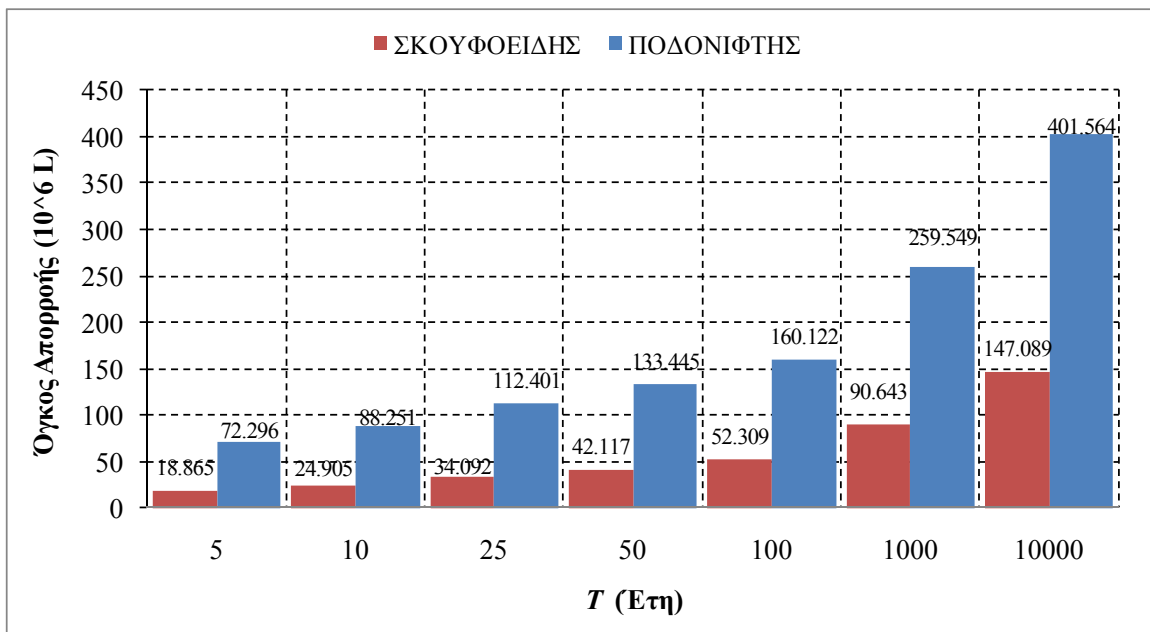
Ένα από τα βασικά εξαγόμενα του προγράμματος είναι ο συνολικός όγκος νερού που εκρέει στα σημεία εξόδου του αποχετευτικού συστήματος. Έτσι, για κάθε γεγονός βροχόπτωσης, συγκεκριμένης διάρκειας και περιόδου επαναφοράς, είναι διαθέσιμος ένας πίνακας με μεγέθη που αφορούν αποκλειστικά τα σημεία εκβολής του αποχετευτικού συστήματος. Όλα τα μεγέθη παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5.9. Στη συνέχεια, στα σχήματα που ακολουθούν δίνεται η μεταβολή του όγκου άμεσης απορροής, στις δύο εξόδους του αποχετευτικού συστήματος, με την αύξηση του T . Με μπλε χρώμα φαίνεται ο συνολικός όγκος απορροής που καταλήγει στον Ποδονόφτη, ενώ με κόκκινο αυτός που καταλήγει στον σκουφοειδή.

Πίνακας 5.9: Υδραυλικά μεγέθη στα σημεία εκβολής για πλημμυρικά γεγονότα διαφόρων T και d .

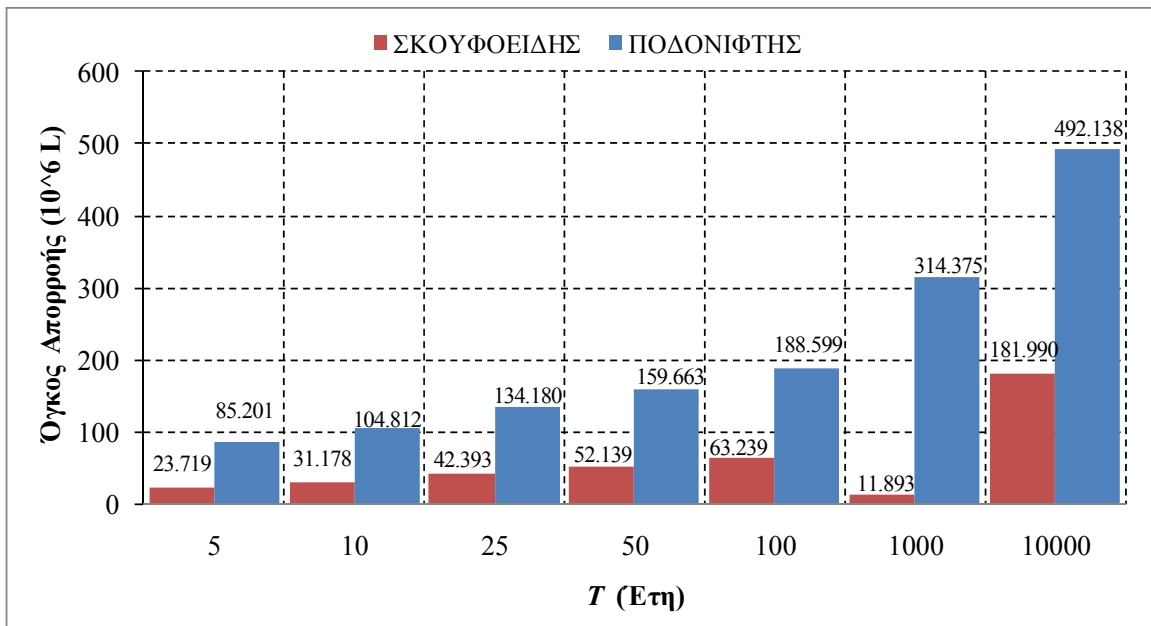
T (έτη)	d (h)	Σημείο εκβολής	Μέση παροχή εκβολής (m ³ /s)	Μέγιστη παροχή εκβολής (m ³ /s)	Συνολικός όγκος νερού (10 ⁶ L)	d (h)	Σημείο εκβολής	Μέση παροχή εκβολής (m ³ /s)	Μέγιστη παροχή εκβολής (m ³ /s)	Συνολικός όγκος νερού (10 ⁶ L)
5	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	2.492	21.018	51.972	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	3.490	21.024	72.296
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	0.549	7.202	11.229		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	0.945	7.202	18.865
10	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	2.923	25.319	60.986	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	4.254	25.504	88.251
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	0.709	9.010	14.535		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.241	9.144	24.905
25	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	3.624	31.683	75.683	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	5.412	33.800	112.401
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	0.974	11.472	20.030		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.690	12.586	34.092
50	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	4.267	36.822	89.019	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	6.450	37.384	133.445
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.217	13.722	25.078		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	2.097	15.946	42.117
100	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	5.025	38.170	104.676	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	7.726	43.300	160.122
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.508	16.520	30.981		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	2.593	19.938	52.309
1000	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	8.331	80.201	173.904	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	12.477	108.274	259.549
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	2.770	25.534	57.342		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	4.444	29.179	90.643
10000	1	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	13.277	189.617	277.332	3	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	19.253	176.322	401.564
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	4.714	36.720	97.714		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	7.173	40.290	147.089
5	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	4.138	21.095	85.201	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	2.956	21.682	124.298
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.213	7.257	23.719		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	0.749	7.714	30.399
10	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	5.080	26.567	104.812	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	3.527	28.999	148.457
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.583	9.774	31.178		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	0.972	10.900	39.611
25	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	6.492	36.747	134.180	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	4.399	37.096	184.048
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	2.141	14.027	42.393		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.313	15.567	53.235
50	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	7.736	39.318	159.663	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	5.131	41.828	215.769
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	2.627	17.860	52.139		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.599	19.378	65.415
100	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	9.132	47.032	188.599	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	6.036	50.461	254.079
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	3.176	21.505	63.239		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	1.953	22.470	80.150
1000	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	15.147	118.687	314.375	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	9.510	123.246	401.528
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	5.548	30.103	11.893		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	3.315	30.985	137.295
10000	6	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	23.656	166.759	492.138	12	ΠΟΔΟΝΙΦΤΗΣ	14.610	169.475	618.067
		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	8.960	40.789	181.990		ΣΚΟΥΦΟΕΙΔΗΣ	5.324	41.713	221.614



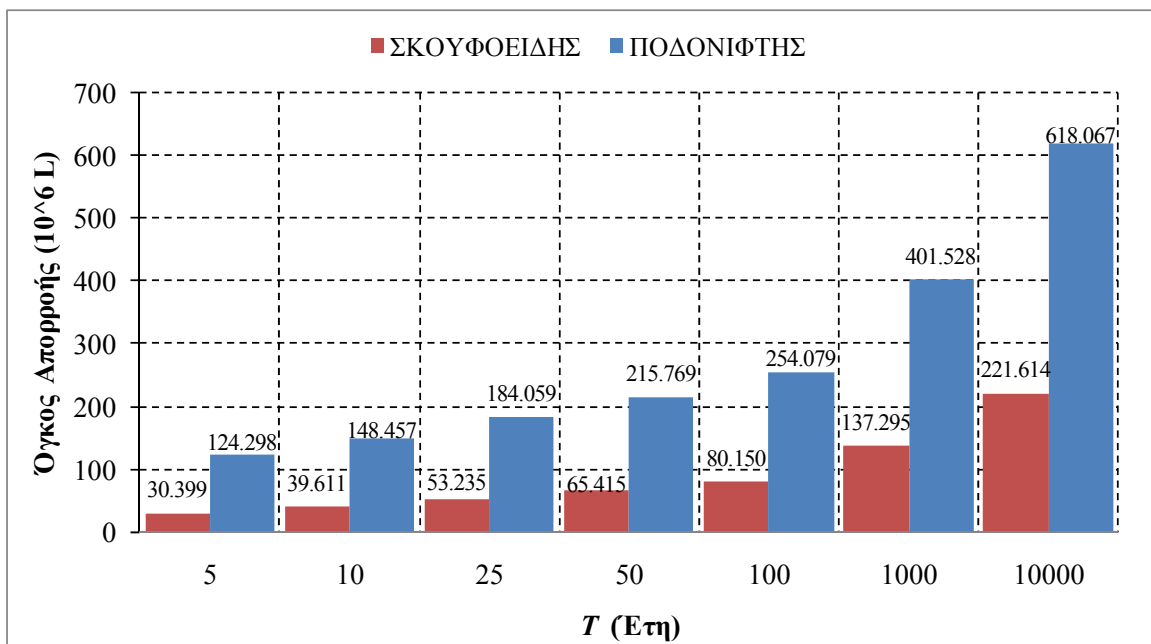
Σχήμα 5.82: Όγκος άμεσης απορροής συναρτήσεις του T στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος για $d = 1$ h.



Σχήμα 5.83: Όγκος άμεσης απορροής συναρτήσεις του T στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος για $d = 3$ h.



Σχήμα 5.84: Όγκος άμεσης απορροής συναρτήσεις του T στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος για $d = 6$ h.



Σχήμα 5.85: Όγκος άμεσης απορροής συναρτήσεις του T στις εξόδους του αποχετευτικού συστήματος για $d = 12$ h.

5.5 Αποτελέσματα εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου στο σύνολο της περιοχής μελέτης.

Παραπάνω μελετήσαμε τμηματικά τι συμβαίνει υδραυλικά με διάφορους αγωγούς του δικτύου, κάτω από την εφαρμογή συγκεκριμένων γεγονότων βροχοπτώσης σχεδιασμού. Η αντίστοιχη παρουσίαση των αναλυτικών αποτελεσμάτων, για όλους του αγωγούς του δικτύου θα ήταν πρακτικά αδύνατη και κουραστική για τον αναγνώστη. Έτσι, στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από την μοντελοποίηση δύο κρίσιμων υδραυλικών μεγεθών, του βάθους ροής και της ταχύτητας ροής, στους επιφανειακούς αγωγούς (δρόμους). Με άλλα λόγια θα δούμε συνολικά, ποιες οδοί κινδυνεύουν να πλημμυρίσουν για

συγκεκριμένα γεγονότα βροχόπτωσης. Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή γεγονότων βροχόπτωσης 6 ωρών για 3 διαφορετικές περιόδους επαναφοράς, (25, 50 και 10000 έτη). Θα δούμε τις τιμές των υδραυλικών μεγεθών που αναφέραμε παραπάνω, στο επιφανειακό δίκτυο, τη χρονική στιγμή 3:10. Επιλέξαμε αυτή τη χρονική στιγμή για δύο λόγους. Καταρχάς, τότε σημειώνονται οι μέγιστες τιμές των διαφόρων υδραυλικών μεγεθών, στους περισσότερους αγωγούς, δηλαδή βρισκόμαστε στην αιχμή της πλημμύρας. Κατά δεύτερον, με το λογισμικό SWMM μπορούμε να ενσωματώσουμε σε κάθε χάρτη αναπαράστασης του συνολικού δικτύου, μια τιμή ενός υδραυλικού μεγέθους που αφορά τους αγωγούς, μόνον για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Στο Παράρτημα 7, παραθέτουμε χάρτες τους οποίους φαίνεται το βάθος και η ταχύτητα ροής στους επιφανειακούς αγωγούς για $T = 25, 50$ και 10000 χρόνια. Συνολικά, δημιουργήσαμε 6 χάρτες. Στους τρεις πρώτους χάρτες αναπαρίσταται το βάθος ροής για $T = 25, 50$ και 10000 χρόνια, ενώ στους άλλους τρεις οι ταχύτητες ροής για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς. Δημιουργήθηκαν 5 κατηγορίες για την κατάταξη των βαθών ροής y : α) $y \leq 0.10$ m β) $0.10 < y \leq 0.50$ γ) $0.50 < y \leq 1$ δ) $1 < y \leq 01.50$ ε) $y > 1.50$ m, με την κατάλληλη χρωματική διαφοροποίηση, ενώ φαίνονται πάνω στον χάρτη, οι τιμές των βαθών ροής για κάποιους αγωγούς του δικτύου. Ομοίως δημιουργήθηκαν 5 κατηγορίες και για την κατάταξη των ταχυτήτων ροής V : α) $V \leq 0.25$ m/s β) $0.25 < V \leq 1$ m/s γ) $1 < V \leq 3$ m/s δ) $3 < V \leq 6$ m/s ε) $V > 6$ m/s, ενώ και εδώ φαίνονται πάνω στον χάρτη κάποιες τιμές των ταχυτήτων σε επιλεγμένους αγωγούς του δικτύου. Επίσης, στο Παράρτημα 6, δίνονται αναλυτικά τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής, για όλους τους επιφανειακούς αγωγούς του δικτύου για γεγονότα βροχόπτωσης διάρκειας 6 h και $T = 50$, και $T = 10000$ έτη. Για $T = 25$ δεν είχε νόημα να παρουσιάσουμε αντίστοιχο πίνακα, αφού όλα τα μεγέθη που αφορούν τους επιφανειακούς αγωγούς είναι μηδενικά. Ύστερα από μελέτη των παραπάνω στοιχείων, καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα για την πλημμυρική επικινδυνότητα του δικτύου:

1. Για $T = 25$ χρόνια, όπως είναι αναμενόμενο, τόσο το βάθος ροής όσο και η ταχύτητα στους επιφανειακούς αγωγούς είναι μηδενικά, που σημαίνει ότι δεν εμφανίζεται πλημμύρα.
2. Για $T = 50$ χρόνια, το μέγιστο βάθος ροής που εμφανίζεται στους δρόμους είναι 0.15 m, ενώ στο υπόλοιπο δίκτυο δεν παρατηρείται επιφανειακή ροή. Οι αγωγοί στους οποίους, το βάθος ροής φτάνει τα 15 cm είναι κάποια τμήματα του βασικού συλλεκτήρα προς το τέλος της Α. Μαραθωνοδρόμων και επί της 28ης Οκτωβρίου, λίγο πριν την έξοδο στον Ποδονόφτη. Παράλληλα, βάθος ροής 0.11 και 0.15 m εμφανίζεται σε δύο τμήματα της οδού Ταυγέτου, στο Π. Ψυχικό. Στο υπόλοιπο δίκτυο τα βάθη ροής είναι μηδενικά.
3. Για γεγονός βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 ετών, η μεγαλύτερη τιμή της ταχύτητας εμφανίζεται στην αρχή της οδού Ταυγέτου και αγγίζει τα 1.93 m/s, 10 λεπτά μετά το πρώτο τρίωρο της βροχόπτωσης. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι στη συμβολή με τον βασικό συλλεκτήρα, η επιφανειακή ταχύτητα της παραπάνω οδού μηδενίζεται. Επιπλέον, στην περιοχή της Φιλοθέης, σημειώνεται ταχύτητα 1.01 m/s στη συμβολή της Μαραθωνοδρόμων με την Κοκκώνη, ενώ στο τέλος της Μαραθωνοδρόμων η επιφανειακή ταχύτητα ροής πέφτει στα 0.45 m/s. Τέλος, στον αγωγό της οδού 28ης Οκτωβρίου και λίγο πριν την εκβολή του στο ρέμα Ποδονόφτη η ταχύτητα στο έδαφος φτάνει τα 0.83 m/s.
4. Για $T = 10000$ έτη, οι περισσότερες οδοί πλημμυρίζουν με αξιοσημείωτα βάθη ροής. Οι μεγαλύτερες τιμές των βαθών ροής εμφανίζονται στην οδό 28ης Οκτωβρίου, όπου το νερό κατά τμήματα ξεπερνά τα 2 m! Για παράδειγμα στη συμβολή της 28ης Οκτωβρίου με την οδό Χάουλαντ το ύψος του νερού φτάνει τα 2.19 m. Κατά τα άλλα, τα βάθη ροής

στον βασικό συλλεκτήρα αυξάνονται οδεύοντας προς Ποδονίφτη. Συγκεκριμένα, στη συμβολή της Μαραθωνοδρόμων με την οδό Ελίκωνος, το βάθος ροής φτάνει τα 1.12 m, ενώ ανατολικότερα, στη συμβολή με την οδό Κοκκώνη το νερό μόλις ξεπερνάει το 1.50 m. Όσον αφορά τον σκουφοειδή αγωγό, το μεγαλύτερο βάθος ροής εμφανίζεται στην οδό Διαμαντίδου με τιμή 1.69 m ενώ στα επόμενα τμήματα του σκουφοειδούς το βάθος ροής μειώνεται. Συγκεκριμένα στην 25ης Μαρτίου, εμφανίζονται βάθη ροής αρκετά μικρότερα των 50 cm, ενώ λίγο πριν την έξοδο στον σκουφοειδή τα βάθη ροής κυμαίνονται μεταξύ 60 και 80 cm. Ακόμα υπάρχουν και αγωγοί με πολύ μικρή πλημμυρική επικινδυνότητα. Για παράδειγμα στις οδούς Αμαρρυλίδος και Κοντολέοντος, οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή του Π. Ψυχικού, το βάθος ροής στους δρόμους για $T = 10000$ έτη, θα είναι κάτω από 10 cm. Να σημειωθεί ότι οι αγωγοί που περνάνε από τις παραπάνω οδούς, καταλήγουν μέσω της οδού Τσάκωνα στον σκουφοειδή αγωγό. Μικρή επίσης είναι η πλημμυρική επικινδυνότητα για τις οδούς Κάλβου και Πάρνηθος οι οποίες βρίσκονται σε αστικές λεκάνες που τελικά αποχετεύονται στον Ποδονίφτη. Τέλος, σχετικά μεγάλη πλημμυρική επικινδυνότητα εμφανίζει η οδός Ταυγέτου στο Π. Ψυχικό, όπου τα βάθη ροής ξεπερνάνε τα 0.50 m και κατά τμήματα πλησιάζουν το 1 m.

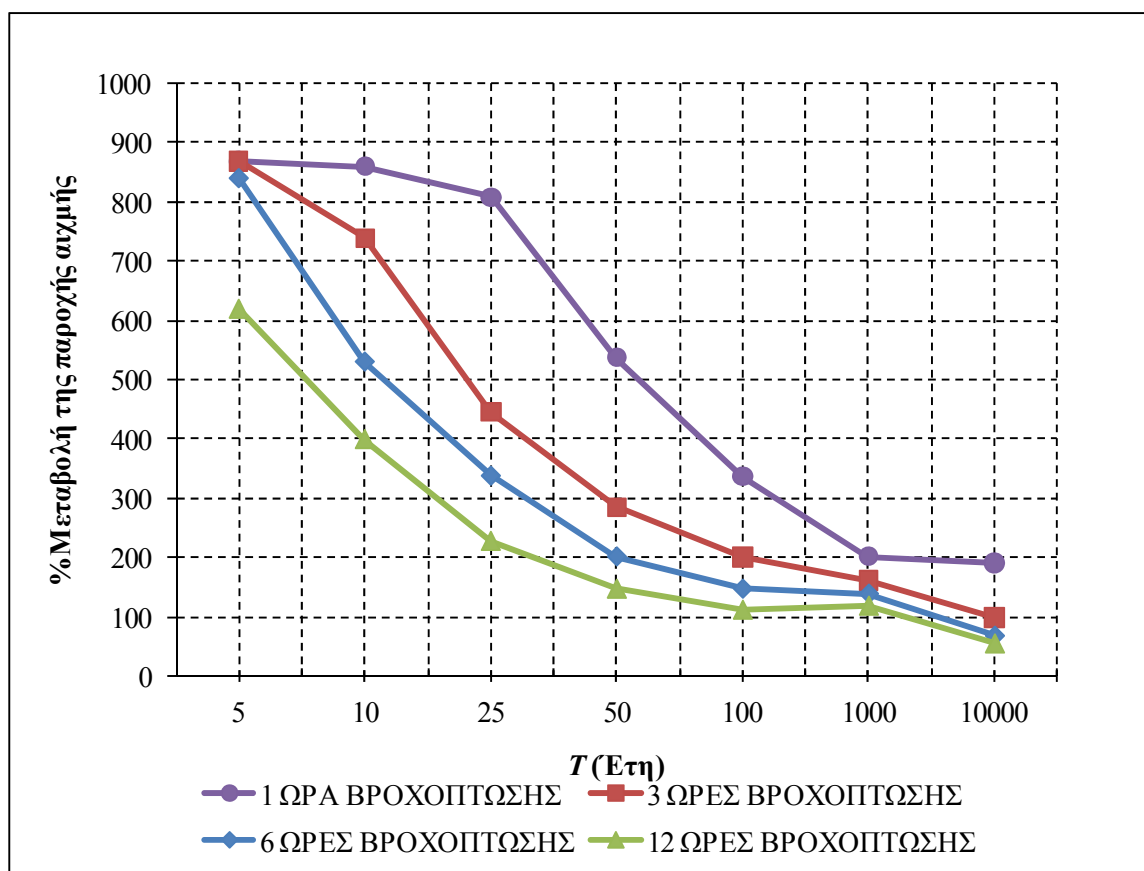
5. Για πλημμυρικό φαινόμενο περιόδου επαναφοράς 10000 ετών, οι μεγαλύτερες ταχύτητες εμφανίζονται στην 28ης Οκτωβρίου, λίγο πριν την έξοδο στον Ποδονίφτη με τιμές που ξεπερνάνε ακόμα και τα 7 m/s κατά τμήματα! Επιπλέον, στο μεγαλύτερο μήκος της Μαραθωνοδρόμων καθώς και στην οδό Ταυγέτου, οι ταχύτητες πλησιάζουν και ξεπερνούν τα 5 m/s. Όσον αφορά τον σκουφοειδή αγωγό, στα τμήματα επί της οδού Μαραθωνοδρόμων οι μέγιστες ταχύτητες κυμαίνονται μεταξύ 1.60 ως 2.50 m/s, ενώ επί της οδού 25ης Μαρτίου οι ταχύτητες δεν ξεπερνάνε το 1 m/s. Όσον αφορά οδούς που καταλήγουν στην Μαραθωνοδρόμων, στην οδό Οίτης οι μέγιστες επιφανειακές ταχύτητες φτάνουν μέχρι και 3.60 m/s, ενώ ανατολικότερα, στην οδό Ελίκωνος οι ταχύτητες ροής στους δρόμους φτάνουν μέχρι και τα 2.89 m/s. Στην οδό Αγ. Δημητρίου, παρατηρούμε ότι οι ταχύτητες διαφοροποιούνται αρκετά κατά τμήματα αφού στο αρχικό τμήμα εμφανίζονται μηδενικές, στο τμήμα μεταξύ Καλλάρη και Αγ. Δημητρίου ξεπερνάνε ελαφρώς τα 3m/s ενώ στο τελευταίο τμήμα δεν ξεπερνάνε τα 2.16 m/s.

5.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα συγκρίνουμε τις παροχές αιχμής της μη αστικής λεκάνης με τις παροχές αιχμής της αστικής λεκάνης στην έξοδο του Ποδονίφτη για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 25, 50, 100, 1000, και 10000, και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 3, 6, και 12 h. Θα εκτιμήσουμε την ποσοστιαία μεταβολή των παροχών που προέκυψε από την αστικοποίηση της περιοχής μελέτης. Στον Πίνακα 5.10 φαίνονται οι παροχές αιχμής της λεκάνης προ της αστικοποίησης και οι αντίστοιχες μετά την αστικοποίηση για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης.

Πίνακας 5.10: Ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αιχμής λεκάνης σε σχέση με την παροχή προ της αστικοποίησης για διάφορα d και T .

d (h)	T (Έτη)	Μη αστική λεκάνη	Αστική Λεκάνη	Ποσοστιαία μεταβολή παροχής (%)
		Παροχή αιχμής (m ³ /s)	Παροχή αιχμής (m ³ /s)	
1	5	2.17	21.02	868.66
	10	2.64	25.32	859.09
	25	3.49	31.68	807.74
	50	5.78	36.82	537.02
	100	8.74	38.17	336.73
	1000	26.57	80.20	201.84
	10000	65.15	189.62	191.05
3	5	2.17	21.02	868.66
	10	3.04	25.50	738.82
	25	6.20	33.80	445.16
	50	9.72	37.38	284.57
	100	14.40	43.30	200.69
	1000	41.43	108.27	161.33
	10000	88.99	176.32	98.13
6	5	2.24	21.02	838.39
	10	4.22	26.57	529.62
	25	8.40	36.75	337.50
	50	13.04	39.32	201.53
	100	19.02	47.02	147.21
	1000	49.68	118.69	138.91
	10000	99.23	166.76	68.05
12	5	3.02	21.68	617.88
	10	5.81	29.00	399.14
	25	11.31	37.10	228.03
	50	16.89	41.83	147.66
	100	23.75	50.46	112.46
	1000	56.24	123.25	119.15
	10000	108.81	169.48	55.76



Σχήμα 5.86: Ποσοστιαία μεταβολή παροχής αιχμής που προκύπτει από την αστικοποίηση της λεκάνης, για γεγονότα βροχόπτωσης διάρκειας 1,3,6 και 12 ωρών.

Μελετώντας τα παραπάνω στοιχεία, παρατηρούμε ότι, τόσο η περίοδος επαναφοράς T όσο και η διάρκεια βροχόπτωσης d παίζουν καθοριστικό ρόλο στο ποσοστό μεταβολής της παροχής αιχμής, που προκύπτει από την αστικοποίηση της λεκάνης. Αν εξετάσουμε μεμονωμένα τις παροχές αιχμής στην μη αστική και την αστική λεκάνη, θα διαπιστώσουμε, αύξηση αυτού του μεγέθους σε κάθε περίπτωση, με την αύξηση των T , d . Όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς, οι παροχές αιχμής στην αστική λεκάνη εμφανίζουν όλο και μικρότερες διαφορές από τις αντίστοιχες παροχές αιχμής της μη αστικής λεκάνης. Αυτό φαίνεται καθαρά στο Σχήμα 5.86 όπου όλες οι συναρτήσεις είναι φθίνουσες. Επίσης διαπιστώνουμε πως όσο μικρότερη η διάρκεια του γεγονότος βροχόπτωσης, τόσο μεγαλύτερη η ποσοστιαία αύξηση της παροχής. Μελετώντας το Σχήμα 5.86 παρατηρούμε ότι πιο ψηλά βρίσκεται η καμπύλη της 1 ώρας που σημαίνει ότι για 1 ώρα βροχόπτωσης έχουμε μεγαλύτερες διαφορές στην παροχή αιχμής, λίγο χαμηλότερα βρίσκεται η καμπύλη των 3 ωρών κ.ο.κ.. Η μεγαλύτερη αύξηση της παροχής αιχμής σημειώνεται ύστερα από βροχή 1 ώρας, περιόδου επαναφοράς 5 ετών και είναι πάνω από 850%, ενώ η μικρότερη μεταβολή αγγίζει το 55.76% και παρατηρείται ύστερα από πλημμυρικό γεγονός 10000 ετών και διάρκειας 12 ωρών. Γενικά, όμως, σημειώνονται πολύ μεγάλα ποσοστά αύξησης της παροχής, λόγω της αστικοποίησης. Ωστόσο οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες μεταβολές παροχής, σημειώνονται για μικρές περιόδους επαναφοράς και μικρές διάρκειες βροχόπτωσης. Αυτό εξηγείται ως εξής: Ύστερα από γεγονότα βροχόπτωσης χαμηλής έντασης και διάρκειας, σε μια μη αστική λεκάνη χάνεται από την απορροή μεγάλο ποσοστό του νερού της βροχής, είτε μέσω της διήθησης, είτε μέσω

συγκράτησης από τη φυτοκόμη, είτε με επιφανειακή αποθήκευση. Συνεπώς, όσο ασθενέστερο είναι το πλημμυρικό φαινόμενο, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος της βροχόπτωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι απορρόφηση νερού από το έδαφος και άρα τόσο μικρότερη η απορροή. Για εντονότερα όμως πλημμυρικά φαινόμενα, αυξάνεται ο όγκος της βροχόπτωσης, το έδαφος γίνεται όλο και περισσότερο κορεσμένο, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης να μετατρέπεται σε απορροή. Όσον αφορά την αστική λεκάνη, απορροφάται από το έδαφος πολύ μικρό μέρος της βροχόπτωσης, αφού το τελευταίο καλύπτεται σχεδόν στο σύνολο του από τσιμέντο και συνεπώς χαρακτηρίζεται από μικρή διαπερατότητα. Τέλος, κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί ότι οι παροχές αιχμής του Πίνακα 5.10, δεν συμπίπτουν απαραίτητα με κάποια τεταγμένη των υδρογραφημάτων απορροής που συντέθηκαν. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τεταγμένες υδρογραφημάτων απορροής έχουν καταγραφεί με χρονικό βήμα 10 λεπτών ενώ οι παροχές αιχμής του Πίνακα 5.10 προκύπτουν από προσομοίωση του συστήματος με χρονικό βήμα 1 s. (Συνεπώς, είναι πολύ πιθανό, οι μέγιστες τιμές των παροχών να σημειώνονται ανάμεσα στα διαστήματα των δεκαλέπτων.)

6 Συμπεράσματα

6.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, προσομοιώθηκε η λειτουργία του πρόσφατα σχεδιασμένου, αποχετευτικού δικτύου ομβρίων, σε λεκάνες της περιοχής Ψυχικού-Φιλοθέης, κάτω από την επίδραση διαφόρων γεγονότων βροχόπτωσης σχεδιασμού. Η διαδικασία αυτή, αποσκοπούσε στη διερεύνηση της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας στην περιοχή και πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού SWMM. Με το SWMM εισάγοντας λεπτομερή δεδομένα τοπολογίας και γεωμετρίας του δικτύου, καθώς και τα δεδομένα της χρονικής εξέλιξης μιας ποικιλίας γεγονότων βροχόπτωσης, κατέστη δυνατό να παρακολουθήσουμε τη χωροχρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών ροής στο σύνολο του δικτύου ομβρίων. Με το λογισμικό SWMM οι υπολογισμοί έγιναν με μεγάλη ακρίβεια, αφού εφαρμόστηκε η δυναμική μέθοδος για τη διόδευση του νερού στο σύστημα σε συνθήκες, μη μόνιμης ανομοιόμορφης ροής.

6.2 Δυσκολίες στη μοντελοποίηση του δικτύου

Κατά την μοντελοποίηση του αποχετευτικού συστήματος, συναντήσαμε αρκετές δυσκολίες αφού θα έπρεπε να προσαρμόσουμε τα δεδομένα και τα ζητούμενα της μελέτης στις αντίστοιχες παραμέτρους και εξαγόμενα του προγράμματος. Τα κυριότερα προβλήματα που χρειάστηκε να αντιμετωπίσουμε ήταν τα ακόλουθα:

1. *Ανεπαρκή στοιχεία για τις λεκάνες και τους αγωγούς που καταλήγουν στον σκουφοειδή αγωγό:* Συγκεκριμένα στη μελέτη δεν αναφέρονταν εμβαδά λεκανών που καταλήγουν στο σκουφοειδή αλλά παροχές που αντιστοιχούν σε διάφορους αγωγούς και είχαν υπολογιστεί από παλαιότερη μελέτη. Για το πρόγραμμα όμως οι παροχές δεν είναι δεδομένο αλλά ζητούμενο, με αποτέλεσμα για την ορθή λειτουργία του συστήματος να είναι απαραίτητη η μετατροπή των παροχών σε ισοδύναμες εκτάσεις λεκανών απορροής. Επιπλέον για πολλούς αγωγούς του υφιστάμενου δικτύου δεν υπήρχαν πλήρη υδραυλικά στοιχεία με αποτέλεσμα να χρειάζεται να γίνουν υδραυλικοί υπολογισμοί και παραδοχές με βάση γειτονικούς αγωγούς. Η ακριβής τοποθέτηση των υφιστάμενων αγωγών, αν και δεν παρουσιάστηκε στο παρόν τεύχος, ήταν απαραίτητη για την ορθή λειτουργία του συστήματος και την παραγωγή ορθών αποτελεσμάτων.
2. *Μεγάλες λεκάνες απορροής οι οποίες αποχετεύονταν σε περισσότερους από έναν αγωγούς που εμπεριέχονταν σε αυτή:* Στο σημείο αυτό δεν ικανοποιούνταν η αρχή της υδρολογίας, ότι κάθε λεκάνη έχει ένα και μοναδικό σημείο εξόδου. Έτσι κρίθηκε απαραίτητη η κατάτμηση των λεκανών σε υπολεκάνες και η καταχώρηση, για την κάθε μια, ενός και μοναδικού σημείου εκβολής.
3. *Καταχώρηση υδρολογικών χαρακτηριστικών αστικών λεκανών:* Η διαστασιολόγηση των αγωγών του δικτύου ομβρίων, είχε πραγματοποιηθεί με χρήση της ορθολογικής μεθόδου με αποτέλεσμα στους υπολογισμούς να υπεισέρχεται ο συντελεστής απορροής C . Για το SWMM όμως, ο συντελεστής απορροής C , είναι δεδομένο εξόδου. Αυτό σημαίνει, ότι η τιμή του εξαρτάται από τις τιμές των παραμέτρων που θα εισάγουμε για την υδρολογική περιγραφή της κάθε λεκάνης. Ωστόσο, για τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν υδρολογικά μια λεκάνη στο SWMM, δεν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία με υδρολογικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στις μελέτες του ελληνικού χώρου. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με δοκιμαστικές τιμές των παραμέτρων και διαδοχικά τρεξίματα, μέχρι να προκύψουν οι συντελεστές απορροής C που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική μελέτη.
4. *Ανάγκη εισαγωγής ενός εικονικού σημείου εκβολής για τον σκουφοειδή αγωγό:* Η εισαγωγή του παραπάνω κόμβου ήταν απαραίτητη προκειμένου να τρέξει επιτυχώς η εφαρμογή.

6. *Η ανάγκη χρήσης δυαδικού συστήματος αποχέτευσης:* Αυτό ήταν απαραίτητο για την πραγματοποίηση επιτυχούς διόδευσης για οποιοδήποτε πλημμυρικό φαινόμενο. Η δυσκολία σύνθεσης του δυαδικού αποχετευτικού δικτύου έγκειται τόσο στον κατάλληλο προσδιορισμό των επιφανειακών ανοιχτών αγωγών (δρόμων) με τα λεπτομερή οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στοιχεία, όσο και στην ορθή σύνδεση τους με το υπόγειο δίκτυο, έτσι ώστε να προσεγγίζουν στο μέγιστο βαθμό τις πραγματικές συνθήκες. Για τον προσδιορισμό των επιφανειακών αγωγών αντλήσαμε πληροφορίες, τόσο από τους διαθέσιμους χάρτες της ΕΥΔΑΠ, όσο και από το χαρτογραφικό λογισμικό Bing Maps, με το οποίο επιτεύχθηκε εστίαση σε επίπεδο πεζοδρομίου.

Η ορθότητα των αποτελεσμάτων επιβεβαιώθηκε ελέγχοντας τα αποτελέσματα των παροχών της μελέτης, με αυτά του προγράμματος με βάση την όμβρια καμπύλη του σταθμού της Ελευσίνας. Βέβαια τα αποτελέσματα για βροχή σχεδιασμού 25 ετών, προέρχονται από δυο διαφορετικές υπολογιστικές μεθόδους, την απλή ορθολογική μέθοδο και την μέθοδο του δυναμικού κύματος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ταιριάζει η τάξη μεγέθους αυτών αλλά όχι και η ακρίβεια τους. Τέλος, η ορθότητα του συνόλου των αποτελεσμάτων επιβεβαιώθηκε από το γεγονός ότι η τελική παροχή στην έξοδο του Ποδονίφτη προέκυψε σχεδόν τριπλάσια της τελικής παροχής στην έξοδο του σκουφοειδούς το οποίο συμφωνεί με το γεγονός ότι στο σκουφοειδή αποχετεύεται το 28% της συνολικής λεκάνης ενώ στον Ποδονίφτη τα 72%.

6.3 Συμπεράσματα από την προσομοίωση του πλημμυρικού κινδύνου στις λεκάνες του Ψυχικού και της Φιλοθέης

- Οι πλημμυρικές αιχμές στην έξοδο του Ποδονίφτη είναι τριπλάσιες από τις αντίστοιχες αιχμές στην έξοδο του σκουφοειδούς αγωγού.
- Η όμβρια καμπύλη του μετεωρολογικού σταθμού του ΕΜΠ στον Ζωγράφου αντιστοιχεί σε δυσμενέστερα γεγονότα βροχόπτωσης από ό,τι η όμβρια καμπύλη της μελέτης. Δείγμα αυτού αποτελούν τα νετογράμματα που παρήχθησαν από τις δύο όμβριες καμπύλες, καθώς και οι αντίστοιχες παροχές του βασικού συλλεκτήρα του αποχετευτικού δικτύου που προσδιορίστηκαν για $T = 25$. Γενικά, παρατηρούνται από 10 έως 20% μεγαλύτερες παροχές αιχμής με εφαρμογή της πρώτης. Ωστόσο, σε τμήμα του βασικού συλλεκτήρα, σημειώνεται μέχρι και 45% μεγαλύτερη παροχή.
- Το αποχετευτικό δίκτυο ομβρίων πάσχει περισσότερο στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, λίγο πριν την εκβολή στο ρέμα Ποδονίφτη, όπου εμφανίζεται και η μεγαλύτερη πλημμυρική επικινδυνότητα. Για $T = 10000$, το νερό εμφανίζει ταχύτητα μέχρι και 8 m/s και βάθος ροής πάνω από 2 m.
- Το δυαδικό σύστημα αποχέτευσης, στο τελευταίο τμήμα του βασικού συλλεκτήρα ξεκινάει να λειτουργεί για $T = 100$ χρόνια, παρόλο που κάποιοι αγωγοί γεμίζουν πλήρως για $T = 50$ χρόνια.
- Μετά από πλημμυρικό γεγονός 10000 ετών, οι μέγιστες παροχές στους υπογείους αγωγούς του βασικού συλλεκτήρα εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές με τις μέγιστες παροχές των 1000 ετών. Αυτό συμβαίνει αφού και στις δύο περιπτώσεις όλα τα τμήματα του αγωγού είναι υπερφορτισμένα και δεν υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω αύξησης.
- Πολύ μεγάλα είναι τα ποσοστά αύξησης της παροχής αιχμής της λεκάνης, στην έξοδο του Ποδονίφτη που προκαλούνται από την αστικοποίηση, ιδιαίτερα για τα συνήθη φαινόμενα, μικρών περιόδων επαναφοράς. Μικρότερη είναι η ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αιχμής, για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, χωρίς όμως αυτή να πέφτει κάτω από το 55% για οποιοδήποτε από τα μελετηθέντα πλημμυρικά φαινόμενα. Η πτωτική τάση των ποσοστών αύξησης της παροχής, με την αύξηση των T , και d είναι αναμενόμενη σύμφωνα με την υφιστάμενη γνώση σχετικά με τα υδρολογικά φαινόμενα. Η ακριβής όμως εκτίμηση των

επιπτώσεων της αστικοποίησης σε ό, τι αφορά τον πλημμυρικό κίνδυνο είναι ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας για τον ορθολογικό σχεδιασμό έργων και μη κατασκευαστικών μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας αστικών περιοχών.

Αναφορές

Στην ελληνική γλώσσα

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.

Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης*. Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

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

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

Υδωρ-Νοταράς Υδραυλικές Μελέτες ΕΠΕ. *Μελέτη υδραυλικών έργων ανισόπεδων κόμβων Φάρου, Αγ. Βαρβάρας, Φιλοθέης. Προμελέτη αντιπλημμυρικών έργων εξωτερικών λεκανών*. Αθήνα, 2001.

Υδωρ-Νοταράς Υδραυλικές Μελέτες ΕΠΕ Χάρτες

Ξενόγλωσσες

Mays., *Water Resource Handbook*, 1996

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

Rossman L., *Storm Water Management Model User's manual*, 2009

Shaw, E., *Hydrology in practice*, 2nd edition, Great Britain, 1983.

Από διαδίκτυο

www.minenv.gr

www.bing.com

www.maps.google.com

Παράρτημα 1: Υετογράμματα σχεδιασμού

Πίνακας Π1.1 Υετογράμμα σχεδιασμού για $T = 5$ έτη και $d = 1$ h.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	131.66	0.00		
0.17	92.11	15.35	15.35	3.48
0.33	72.09	24.03	8.68	5.88
0.50	59.81	29.91	5.88	15.35
0.67	51.44	34.29	4.39	8.68
0.83	45.32	37.77	3.48	4.39
1.00	40.64	40.64	2.87	2.87

Πίνακας Π1.2 Υετογράμμα σχεδιασμού για $T = 10$ έτη και $d = 1$ h.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	160.56	0.00		
0.17	112.32	18.72	18.72	4.24
0.33	87.91	29.30	10.58	7.17
0.50	72.94	36.47	7.17	18.72
0.67	62.73	41.82	5.35	10.58
0.83	55.27	46.06	4.24	5.35
1.00	49.56	49.56	3.50	3.50

Πίνακας Π1.3 Υετογράμμα σχεδιασμού για $T = 25$ έτη και $d = 1$ h.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	202.04	0.00		
0.17	141.34	23.56	23.56	5.33
0.33	110.63	36.88	13.32	9.02
0.50	91.79	45.89	9.02	23.56
0.67	78.94	52.62	6.73	13.32
0.83	69.55	57.96	5.33	6.73
1.00	62.36	62.36	4.41	4.41

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	236.86	0.00		
0.17	165.71	27.62	27.62	6.25
0.33	129.70	43.23	15.61	10.57
0.50	107.61	53.80	10.57	27.62
0.67	92.54	61.69	7.89	15.61
0.83	81.54	67.95	6.25	7.89
1.00	73.11	73.11	5.16	5.16

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	275.26	0.00		
0.17	192.57	32.09	32.09	7.27
0.33	150.72	50.24	18.15	12.29
0.50	125.05	62.53	12.29	32.09
0.67	107.54	71.69	9.17	18.15
0.83	94.75	78.96	7.27	9.17
1.00	84.96	84.96	6.00	6.00

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	434.93	0.00		
0.17	304.27	50.71	50.71	11.48
0.33	238.15	79.38	28.67	19.41
0.50	197.59	98.80	19.41	50.71
0.67	169.92	113.28	14.49	28.67
0.83	149.72	124.77	11.48	14.49
1.00	134.25	134.25	9.48	9.48

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	660.16	0.00		
0.17	461.83	76.97	76.97	17.43
0.33	361.47	120.49	43.52	29.47
0.50	299.91	149.96	29.47	76.97
0.67	257.92	171.94	21.99	43.52
0.83	227.25	189.37	17.43	21.99
1.00	203.77	203.77	14.39	14.39

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	131.66	0.00		
0.17	92.11	15.35	15.35	0.99
0.33	72.09	24.03	8.68	1.12
0.50	59.81	29.91	5.88	1.29
0.67	51.44	34.29	4.39	1.53
0.83	45.32	37.77	3.48	1.88
1.00	40.64	40.64	2.87	2.44
1.17	36.93	43.08	2.44	3.48
1.33	33.90	45.20	2.12	5.88
1.50	31.39	47.08	1.88	15.35
1.67	29.26	48.77	1.68	8.68
1.83	27.43	50.29	1.53	4.39
2.00	25.85	51.69	1.40	2.87
2.17	24.45	52.98	1.29	2.12
2.33	23.22	54.18	1.20	1.68
2.50	22.12	55.30	1.12	1.40
2.67	21.13	56.34	1.05	1.20
2.83	20.23	57.33	0.99	1.05
3.00	19.42	58.26	0.93	0.93

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	160.56	0.00		
0.17	112.32	18.72	18.72	1.20
0.33	87.91	29.30	10.58	1.36
0.50	72.94	36.47	7.17	1.57
0.67	62.73	41.82	5.35	1.86
0.83	55.27	46.06	4.24	2.29
1.00	49.56	49.56	3.50	2.98
1.17	45.03	52.54	2.98	4.24
1.33	41.34	55.13	2.59	7.17
1.50	38.28	57.42	2.29	18.72
1.67	35.68	59.47	2.05	10.58
1.83	33.45	61.33	1.86	5.35
2.00	31.52	63.04	1.70	3.50
2.17	29.82	64.61	1.57	2.59
2.33	28.32	66.07	1.46	2.05
2.50	26.97	67.43	1.36	1.70
2.67	25.77	68.71	1.28	1.46
2.83	24.68	69.92	1.20	1.28
3.00	23.68	71.05	1.14	1.14

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	202.04	0.00		
0.17	141.34	23.56	23.56	1.52
0.33	110.63	36.88	13.32	1.71
0.50	91.79	45.89	9.02	1.98
0.67	78.94	52.62	6.73	2.34
0.83	69.55	57.96	5.33	2.88
1.00	62.36	62.36	4.41	3.75
1.17	56.67	66.11	3.75	5.33
1.33	52.03	69.37	3.26	9.02
1.50	48.17	72.25	2.88	23.56
1.67	44.90	74.84	2.59	13.32
1.83	42.10	77.18	2.34	6.73
2.00	39.66	79.33	2.15	4.41
2.17	37.53	81.31	1.98	3.26
2.33	35.63	83.14	1.84	2.59
2.50	33.94	84.86	1.71	2.15
2.67	32.42	86.47	1.61	1.84
2.83	31.05	87.98	1.52	1.61
3.00	29.80	89.41	1.43	1.43

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	236.86	0.00		
0.17	165.71	27.62	27.62	1.78
0.33	129.70	43.23	15.61	2.01
0.50	107.61	53.80	10.57	2.32
0.67	92.54	61.69	7.89	2.75
0.83	81.54	67.95	6.25	3.38
1.00	73.11	73.11	7.89	4.39
1.17	66.43	77.51	4.39	6.25
1.33	60.99	81.33	3.82	10.57
1.50	56.47	84.71	3.38	27.62
1.67	52.64	87.74	3.03	15.61
1.83	49.36	90.48	2.75	7.89
2.00	46.50	93.00	2.52	7.89
2.17	43.99	95.32	2.32	3.82
2.33	41.77	97.47	2.15	3.03
2.50	39.79	99.48	2.01	2.52
2.67	38.01	101.37	1.89	2.15
2.83	36.40	103.14	1.78	1.89
3.00	34.94	104.82	1.68	1.68

Πίνακας Π.12 Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 100$ έτη και $d = 3$ h.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	275.26	0.00		
0.17	192.57	32.09	32.09	2.06
0.33	150.72	50.24	18.15	2.34
0.50	125.05	62.53	12.29	2.70
0.67	107.54	71.69	9.17	3.19
0.83	94.75	78.96	7.27	3.93
1.00	84.96	84.96	7.89	5.11
1.17	77.20	90.07	5.11	7.27
1.33	70.88	94.51	4.44	12.29
1.50	65.62	98.44	3.93	32.09
1.67	61.18	101.96	3.52	18.15
1.83	57.36	105.15	3.19	9.17
2.00	54.04	108.08	2.92	7.89
2.17	51.13	110.77	2.70	4.44
2.33	48.55	113.27	2.50	3.52
2.50	46.24	115.61	2.34	2.92
2.67	44.18	117.80	2.19	2.50
2.83	42.31	119.86	2.06	2.19
3.00	40.61	121.82	1.95	1.95

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	434.93	0.00	0.00	
0.17	304.27	50.71	50.71	3.26
0.33	238.15	79.38	28.67	3.69
0.50	197.59	98.80	19.41	4.26
0.67	169.92	113.28	14.49	5.05
0.83	149.72	124.77	11.48	6.21
1.00	134.25	134.25	7.89	8.07
1.17	121.99	142.32	8.07	11.48
1.33	112.00	149.33	7.01	19.41
1.50	103.69	155.54	6.21	50.71
1.67	96.66	161.10	5.57	28.67
1.83	90.63	166.15	5.05	14.49
2.00	85.38	170.77	4.62	7.89
2.17	80.78	175.03	4.26	7.01
2.33	76.71	178.98	3.95	5.57
2.50	73.07	182.67	3.69	4.62
2.67	69.80	186.13	3.46	3.95
2.83	66.85	189.39	3.26	3.46
3.00	64.16	192.48	3.08	3.08

Πίνακας Π.14 Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 10000$ έτη και $d = 3h$.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	660.16	0.00	0.00	
0.17	461.83	76.97	76.97	4.95
0.33	361.47	120.49	43.52	5.60
0.50	299.91	149.96	29.47	6.46
0.67	257.92	171.94	21.99	7.66
0.83	227.25	189.37	17.43	9.42
1.00	203.77	203.77	14.39	12.14
1.17	185.15	216.01	12.24	17.43
1.33	169.99	226.66	10.65	29.47
1.50	157.39	236.08	9.42	76.97
1.67	146.72	244.53	8.45	43.52
1.83	137.56	252.19	7.66	21.99
2.00	129.60	259.20	7.01	14.39
2.17	122.61	265.66	6.46	10.65
2.33	116.43	271.66	6.00	8.45
2.50	110.91	277.26	5.60	7.01
2.67	105.94	282.52	5.26	6.00
2.83	101.46	287.47	4.95	5.26
3.00	97.38	292.15	4.68	4.68

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	131.66	0.00	0.00	
0.17	92.11	15.35	15.35	0.50
0.33	72.09	24.03	8.68	0.53
0.50	59.81	29.91	5.88	0.56
0.67	51.44	34.29	4.39	0.59
0.83	45.32	37.77	3.48	0.63
1.00	40.64	40.64	2.87	0.68
1.17	36.93	43.08	2.44	0.74
1.33	33.90	45.20	2.12	0.70
1.50	31.39	47.08	1.88	0.89
1.67	29.26	48.77	1.68	0.99
1.83	27.43	50.29	1.53	1.12
2.00	25.85	51.69	1.40	1.29
2.17	24.45	52.98	1.29	1.53
2.33	23.22	54.18	1.20	1.88
2.50	22.12	55.30	1.12	2.44
2.67	21.13	56.34	1.05	3.48
2.83	20.23	57.33	0.99	5.88
3.00	19.42	58.26	0.93	15.35

Πίνακας Π1.15 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	18.68	59.15	0.89	8.68
3.33	18.00	59.99	0.84	4.39
3.50	17.37	60.80	0.80	2.87
3.67	16.79	61.57	0.77	2.12
3.83	16.25	62.30	0.74	1.68
4.00	15.75	63.01	0.71	1.40
4.17	15.29	63.69	0.68	1.20
4.33	14.85	64.35	0.66	1.05
4.50	14.44	64.99	0.63	0.93
4.67	14.06	65.60	0.61	0.84
4.83	13.69	66.19	0.59	0.77
5.00	13.35	66.77	0.57	0.71
5.17	13.03	67.32	0.56	0.66
5.33	12.72	67.87	0.54	0.61
5.50	12.43	68.39	0.53	0.57
5.67	12.16	68.90	0.51	0.54
5.83	11.90	69.40	0.50	0.51
6.00	11.65	69.89	0.49	0.49

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	160.56	0.00	0.00	
0.17	112.32	18.72	18.72	0.61
0.33	87.91	29.30	10.58	0.64
0.50	72.94	36.47	7.17	0.68
0.67	62.73	41.82	5.35	0.72
0.83	55.27	46.06	4.24	0.77
1.00	49.56	49.56	3.50	0.83
1.17	45.03	52.54	2.98	0.90
1.33	41.34	55.13	2.59	0.98
1.50	38.28	57.42	2.29	1.08
1.67	35.68	59.47	2.05	1.20
1.83	33.45	61.33	1.86	1.36
2.00	31.52	63.04	1.70	1.57
2.17	29.82	64.61	1.57	1.86
2.33	28.32	66.07	1.46	2.29
2.50	26.97	67.43	1.36	2.98
2.67	25.77	68.71	1.28	4.24
2.83	24.68	69.92	1.20	7.17
3.00	23.68	71.05	1.14	18.72

Πίνακας Π1.16 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	22.78	72.13	1.08	10.58
3.33	21.95	73.16	1.03	5.35
3.50	21.18	74.14	0.98	3.50
3.67	20.48	75.08	0.94	2.59
3.83	19.82	75.98	0.90	2.05
4.00	19.21	76.84	0.86	1.70
4.17	18.64	77.67	0.83	1.46
4.33	18.11	78.48	0.80	1.28
4.50	17.61	79.25	0.77	1.14
4.67	17.14	80.00	0.75	1.03
4.83	16.70	80.72	0.72	0.94
5.00	16.28	81.42	0.70	0.86
5.17	15.89	82.10	0.68	0.80
5.33	15.52	82.76	0.66	0.75
5.50	15.16	83.40	0.64	0.70
5.67	14.83	84.03	0.63	0.66
5.83	14.51	84.64	0.61	0.63
6.00	14.21	85.23	0.59	0.59

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	202.04			
0.17	141.34	23.56	23.56	0.77
0.33	110.63	36.88	13.32	0.81
0.50	91.79	45.89	9.02	0.86
0.67	78.94	52.62	6.73	0.91
0.83	69.55	57.96	5.33	0.97
1.00	62.36	62.36	4.41	1.05
1.17	56.67	66.11	3.75	1.13
1.33	52.03	69.37	3.26	1.23
1.50	48.17	72.25	2.88	1.36
1.67	44.90	74.84	2.59	1.52
1.83	42.10	77.18	2.34	1.71
2.00	39.66	79.33	2.15	1.98
2.17	37.53	81.31	1.98	2.34
2.33	35.63	83.14	1.84	2.88
2.50	33.94	84.86	1.71	3.75
2.67	32.42	86.47	1.61	5.33
2.83	31.05	87.98	1.52	9.02
3.00	29.80	89.41	1.43	23.56

Πίνακας Π1.17 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	28.67	90.77	1.36	13.32
3.33	27.62	92.07	1.29	6.73
3.50	26.66	93.30	1.23	4.41
3.67	25.77	94.48	1.18	3.26
3.83	24.94	95.61	1.13	2.59
4.00	24.17	96.70	1.09	2.15
4.17	23.46	97.75	1.05	1.84
4.33	22.79	98.75	1.01	1.61
4.50	22.16	99.73	0.97	1.43
4.67	21.57	100.67	0.94	1.29
4.83	21.02	101.58	0.91	1.18
5.00	20.49	102.46	0.88	1.09
5.17	20.00	103.32	0.86	1.01
5.33	19.53	104.15	0.83	0.94
5.50	19.08	104.96	0.81	0.88
5.67	18.66	105.74	0.79	0.83
5.83	18.26	106.51	0.77	0.79
6.00	17.88	107.25	0.75	0.75

Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη και $d = 6$ h.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	236.86	0.00	0.00	
0.17	165.71	27.62	27.62	0.90
0.33	129.70	43.23	15.61	0.95
0.50	107.61	53.80	10.57	1.00
0.67	92.54	61.69	7.89	1.07
0.83	81.54	67.95	6.25	1.14
1.00	73.11	73.11	5.16	1.23
1.17	66.43	77.51	4.39	1.33
1.33	60.99	81.33	3.82	1.45
1.50	56.47	84.71	3.38	1.59
1.67	52.64	87.74	3.03	1.78
1.83	49.36	90.48	2.75	2.01
2.00	46.50	93.00	2.52	2.32
2.17	43.99	95.32	2.32	2.75
2.33	41.77	97.47	2.15	3.38
2.50	39.79	99.48	2.01	4.39
2.67	38.01	101.37	1.89	6.25
2.83	36.40	103.14	1.78	10.57
3.00	34.94	104.82	1.68	27.62

Πίνακας Π1.18 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	33.61	106.42	1.59	15.61
3.33	32.38	107.93	1.52	7.89
3.50	31.25	109.38	1.45	5.16
3.67	30.21	110.77	1.38	3.82
3.83	29.24	112.09	1.33	3.03
4.00	28.34	113.37	1.27	2.52
4.17	27.50	114.59	1.23	2.15
4.33	26.72	115.77	1.18	1.89
4.50	25.98	116.91	1.14	1.68
4.67	25.29	118.02	1.10	1.52
4.83	24.64	119.08	1.07	1.38
5.00	24.02	120.12	1.03	1.27
5.17	23.44	121.12	1.00	1.18
5.33	22.89	122.10	0.97	1.10
5.50	22.37	123.04	0.95	1.03
5.67	21.88	123.97	0.92	0.97
5.83	21.41	124.86	0.90	0.92
6.00	20.96	125.74	0.88	0.88

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	275.26	0.00	0.00	
0.17	192.57	32.09	32.09	1.04
0.33	150.72	50.24	18.15	1.10
0.50	125.05	62.53	12.29	1.17
0.67	107.54	71.69	9.17	1.24
0.83	94.75	78.96	7.27	1.33
1.00	84.96	84.96	6.00	1.42
1.17	77.20	90.07	5.11	1.54
1.33	70.88	94.51	4.44	1.68
1.50	65.62	98.44	3.93	1.85
1.67	61.18	101.96	3.52	2.06
1.83	57.36	105.15	3.19	2.34
2.00	54.04	108.08	2.92	2.70
2.17	51.13	110.77	2.70	3.19
2.33	48.55	113.27	2.50	3.93
2.50	46.24	115.61	2.34	5.11
2.67	44.18	117.80	2.19	7.27
2.83	42.31	119.86	2.06	12.29
3.00	40.61	121.82	1.95	32.09

Πίνακας Π1.19 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	39.05	123.67	1.85	18.15
3.33	37.63	125.43	1.76	9.17
3.50	36.32	127.11	1.68	6.00
3.67	35.11	128.72	1.61	4.44
3.83	33.98	130.26	1.54	3.52
4.00	32.94	131.74	1.48	2.92
4.17	31.96	133.17	1.42	2.50
4.33	31.05	134.54	1.37	2.19
4.50	30.19	135.87	1.33	1.95
4.67	29.39	137.15	1.28	1.76
4.83	28.63	138.39	1.24	1.61
5.00	27.92	139.59	1.20	1.48
5.17	27.24	140.76	1.17	1.37
5.33	26.60	141.89	1.13	1.28
5.50	26.00	142.99	1.10	1.20
5.67	25.42	144.06	1.07	1.13
5.83	24.88	145.11	1.04	1.07
6.00	24.35	146.12	1.02	1.02

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	434.93	0.00	0.00	
0.17	304.27	50.71	50.71	1.65
0.33	238.15	79.38	28.67	1.74
0.50	197.59	98.80	19.41	1.84
0.67	169.92	113.28	14.49	1.96
0.83	149.72	124.77	11.48	2.09
1.00	134.25	134.25	9.48	2.25
1.17	121.99	142.32	8.07	2.44
1.33	112.00	149.33	7.01	2.66
1.50	103.69	155.54	6.21	2.93
1.67	96.66	161.10	5.57	3.26
1.83	90.63	166.15	5.05	3.69
2.00	85.38	170.77	4.62	4.26
2.17	80.78	175.03	4.26	5.05
2.33	76.71	178.98	3.95	6.21
2.50	73.07	182.67	3.69	8.07
2.67	69.80	186.13	3.46	11.48
2.83	66.85	189.39	3.26	19.41
3.00	64.16	192.48	3.08	50.71

Πίνακας Π1.20 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	61.71	195.41	2.93	28.67
3.33	59.46	198.19	2.78	14.49
3.50	57.38	200.85	2.66	9.48
3.67	55.47	203.39	2.54	7.01
3.83	53.69	205.82	2.44	5.57
4.00	52.04	208.16	2.34	4.62
4.17	50.50	210.41	2.25	3.95
4.33	49.06	212.58	2.17	3.46
4.50	47.71	214.68	2.09	3.08
4.67	46.44	216.70	2.02	2.78
4.83	45.24	218.66	1.96	2.54
5.00	44.11	220.56	1.90	2.34
5.17	43.05	222.41	1.84	2.17
5.33	42.04	224.20	1.79	2.02
5.50	41.08	225.94	1.74	1.90
5.67	40.17	227.63	1.69	1.79
5.83	39.30	229.28	1.65	1.69
6.00	38.48	230.88	1.61	1.61

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	660.16	0.00	0.00	0.00
0.17	461.83	76.97	76.97	2.50
0.33	361.47	120.49	43.52	2.64
0.50	299.91	149.96	29.47	2.80
0.67	257.92	171.94	21.99	2.97
0.83	227.25	189.37	17.43	3.18
1.00	203.77	203.77	14.39	3.42
1.17	185.15	216.01	12.24	3.70
1.33	169.99	226.66	10.65	4.03
1.50	157.39	236.08	9.42	4.44
1.67	146.72	244.53	8.45	4.95
1.83	137.56	252.19	7.66	5.60
2.00	129.60	259.20	7.01	6.46
2.17	122.61	265.66	6.46	7.66
2.33	116.43	271.66	6.00	9.42
2.50	110.91	277.26	5.60	12.24
2.67	105.94	282.52	5.26	17.43
2.83	101.46	287.47	4.95	29.47
3.00	97.38	292.15	4.68	76.97

Πίνακας Π1.21 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	93.66	296.59	4.44	43.52
3.33	90.25	300.82	4.23	21.99
3.50	87.10	304.85	4.03	14.39
3.67	84.19	308.71	3.86	10.65
3.83	81.50	312.41	3.70	8.45
4.00	78.99	315.96	3.55	7.01
4.17	76.65	319.38	3.42	6.00
4.33	74.46	322.67	3.29	5.26
4.50	72.41	325.85	3.18	4.68
4.67	70.48	328.92	3.07	4.23
4.83	68.67	331.90	2.97	3.86
5.00	66.96	334.78	2.88	3.55
5.17	65.34	337.58	2.80	3.29
5.33	63.80	340.29	2.72	3.07
5.50	62.35	342.93	2.64	2.88
5.67	60.97	345.50	2.57	2.72
5.83	59.66	348.01	2.50	2.57
6.00	58.41	350.45	2.44	2.44

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	53.74	0.00	0.00	0.00
0.17	92.11	15.35	15.35	0.27
0.33	72.09	24.03	8.68	0.27
0.50	59.81	29.91	5.88	0.28
0.67	51.44	34.29	4.39	0.29
0.83	45.32	37.77	3.48	0.30
1.00	40.64	40.64	2.87	0.31
1.17	36.93	43.08	2.44	0.31
1.33	33.90	45.20	2.12	0.32
1.50	31.39	47.08	1.88	0.33
1.67	29.26	48.77	1.68	0.34
1.83	27.43	50.29	1.53	0.36
2.00	25.85	51.69	1.40	0.37
2.17	24.45	52.98	1.29	0.38
2.33	23.22	54.18	1.20	0.40
2.50	22.12	55.30	1.12	0.41
2.67	21.13	56.34	1.05	0.43
2.83	20.23	57.33	0.99	0.45
3.00	19.42	58.26	0.93	0.47

Πίνακας Π1.22 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
3.17	18.68	59.15	0.89	0.50
3.33	18.00	59.99	0.84	0.53
3.50	17.37	60.80	0.80	0.56
3.67	16.79	61.57	0.77	0.59
3.83	16.25	62.30	0.74	0.63
4.00	15.75	63.01	0.71	0.68
4.17	15.29	63.69	0.68	0.74
4.33	14.85	64.35	0.66	0.80
4.50	14.44	64.99	0.63	0.89
4.67	14.06	65.60	0.61	0.99
4.83	13.69	66.19	0.59	1.12
5.00	13.35	66.77	0.57	1.29
5.17	13.03	67.32	0.56	1.53
5.33	12.72	67.87	0.54	1.88
5.50	12.43	68.39	0.53	2.44
5.67	12.16	68.90	0.51	3.48
5.83	11.90	69.40	0.50	5.88
6.00	11.65	69.89	0.49	15.35
6.17	11.41	70.37	0.47	8.68
6.33	11.18	70.83	0.46	4.39
6.50	10.97	71.28	0.45	2.87
6.67	10.76	71.72	0.44	2.12
6.83	10.56	72.16	0.43	1.68
7.00	10.37	72.58	0.42	1.40
7.17	10.19	72.99	0.41	1.20
7.33	10.01	73.40	0.41	1.05
7.50	9.84	73.80	0.40	0.93
7.67	9.68	74.19	0.39	0.84
7.83	9.52	74.57	0.38	0.77
8.00	9.37	74.95	0.38	0.71
8.17	9.22	75.32	0.37	0.66
8.33	9.08	75.68	0.36	0.61
8.50	8.95	76.04	0.36	0.57
8.67	8.81	76.39	0.35	0.54
8.83	8.69	76.73	0.34	0.51
9.00	8.56	77.07	0.34	0.49
9.17	8.44	77.41	0.33	0.46
9.33	8.33	77.73	0.33	0.44
9.50	8.22	78.06	0.32	0.42
9.67	8.11	78.38	0.32	0.41
9.83	8.00	78.69	0.31	0.39
10.00	7.90	79.00	0.31	0.38

Πίνακας Π1.22 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
10.17	7.80	79.31	0.31	0.36
10.33	7.70	79.61	0.30	0.35
10.50	7.61	79.90	0.30	0.34
10.67	7.52	80.20	0.29	0.33
10.83	7.43	80.48	0.29	0.32
11.00	7.34	80.77	0.28	0.31
11.17	7.26	81.05	0.28	0.30
11.33	7.18	81.33	0.28	0.29
11.50	7.10	81.60	0.27	0.28
11.67	7.02	81.87	0.27	0.28
11.83	6.94	82.14	0.27	0.27
12.00	6.87	82.41	0.26	0.26

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	160.56	0.00	0.00	0.00
0.17	112.32	18.72	18.72	0.33
0.33	87.91	29.30	10.58	0.33
0.50	72.94	36.47	7.17	0.34
0.67	62.73	41.82	5.35	0.35
0.83	55.27	46.06	4.24	0.36
1.00	49.56	49.56	3.50	0.37
1.17	45.03	52.54	2.98	0.38
1.33	41.34	55.13	2.59	0.39
1.50	38.28	57.42	2.29	0.41
1.67	35.68	59.47	2.05	0.42
1.83	33.45	61.33	1.86	0.43
2.00	31.52	63.04	1.70	0.45
2.17	29.82	64.61	1.57	0.47
2.33	28.32	66.07	1.46	0.49
2.50	26.97	67.43	1.36	0.51
2.67	25.77	68.71	1.28	0.53
2.83	24.68	69.92	1.20	0.55
3.00	23.68	71.05	1.14	0.58
3.17	22.78	72.13	1.08	0.61
3.33	21.95	73.16	1.03	0.64
3.50	21.18	74.14	0.98	0.68
3.67	20.48	75.08	0.94	0.72
3.83	19.82	75.98	0.90	0.77
4.00	19.21	76.84	0.86	0.83
4.17	18.64	77.67	0.83	0.90

Πίνακας Π1.23 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
4.33	18.11	78.48	0.80	0.98
4.50	17.61	79.25	0.77	1.08
4.67	17.14	80.00	0.75	1.20
4.83	16.70	80.72	0.72	1.36
5.00	16.28	81.42	0.70	1.57
5.17	15.89	82.10	0.68	1.86
5.33	15.52	82.76	0.66	2.29
5.50	15.16	83.40	0.64	2.98
5.67	14.83	84.03	0.63	4.24
5.83	14.51	84.64	0.61	7.17
6.00	14.21	85.23	0.59	18.72
6.17	13.92	85.81	0.58	10.58
6.33	13.64	86.37	0.57	5.35
6.50	13.37	86.93	0.55	3.50
6.67	13.12	87.47	0.54	2.59
6.83	12.88	87.99	0.53	2.05
7.00	12.64	88.51	0.52	1.70
7.17	12.42	89.02	0.51	1.46
7.33	12.21	89.51	0.50	1.28
7.50	12.00	90.00	0.49	1.14
7.67	11.80	90.47	0.48	1.03
7.83	11.61	90.94	0.47	0.94
8.00	11.42	91.40	0.46	0.86
8.17	11.25	91.85	0.45	0.80
8.33	11.08	92.29	0.44	0.75
8.50	10.91	92.73	0.43	0.70
8.67	10.75	93.16	0.43	0.66
8.83	10.59	93.58	0.42	0.63
9.00	10.44	93.99	0.41	0.59
9.17	10.30	94.40	0.41	0.57
9.33	10.16	94.80	0.40	0.54
9.50	10.02	95.19	0.39	0.52
9.67	9.89	95.58	0.39	0.50
9.83	9.76	95.96	0.38	0.48
10.00	9.63	96.34	0.38	0.46
10.17	9.51	96.71	0.37	0.44
10.33	9.39	97.08	0.37	0.43
10.50	9.28	97.44	0.36	0.41
10.67	9.17	97.80	0.36	0.40
10.83	9.06	98.15	0.35	0.39
11.00	8.95	98.50	0.35	0.38
11.17	8.85	98.84	0.34	0.37

Πίνακας Π1.23 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
11.33	8.75	99.18	0.34	0.36
11.50	8.65	99.51	0.33	0.35
11.67	8.56	99.84	0.33	0.34
11.83	8.47	100.17	0.33	0.33
12.00	8.37	100.49	0.32	0.32

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	202.04	0.00	0.00	
0.17	141.34	23.56	23.56	0.41
0.33	110.63	36.88	13.32	0.42
0.50	91.79	45.89	9.02	0.43
0.67	78.94	52.62	6.73	0.44
0.83	69.55	57.96	5.33	0.46
1.00	62.36	62.36	4.41	0.47
1.17	56.67	66.11	3.75	0.48
1.33	52.03	69.37	3.26	0.50
1.50	48.17	72.25	2.88	0.51
1.67	44.90	74.84	2.59	0.53
1.83	42.10	77.18	2.34	0.55
2.00	39.66	79.33	2.15	0.57
2.17	37.53	81.31	1.98	0.59
2.33	35.63	83.14	1.84	0.61
2.50	33.94	84.86	1.71	0.64
2.67	32.42	86.47	1.61	0.66
2.83	31.05	87.98	1.52	0.69
3.00	29.80	89.41	1.43	0.73
3.17	28.67	90.77	1.36	0.77
3.33	27.62	92.07	1.29	0.81
3.50	26.66	93.30	1.23	0.86
3.67	25.77	94.48	1.18	0.91
3.83	24.94	95.61	1.13	0.97
4.00	24.17	96.70	1.09	1.05
4.17	23.46	97.75	1.05	1.13
4.33	22.79	98.75	1.01	1.23
4.50	22.16	99.73	0.97	1.36
4.67	21.57	100.67	0.94	1.52
4.83	21.02	101.58	0.91	1.71
5.00	20.49	102.46	0.88	1.98

Πίνακας Π1.24 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
5.17	20.00	103.32	0.86	2.34
5.33	19.53	104.15	0.83	2.88
5.50	19.08	104.96	0.81	3.75
5.67	18.66	105.74	0.79	5.33
5.83	18.26	106.51	0.77	9.02
6.00	17.88	107.25	0.75	23.56
6.17	17.51	107.98	0.73	13.32
6.33	17.16	108.69	0.71	6.73
6.50	16.83	109.39	0.69	4.41
6.67	16.51	110.07	0.68	3.26
6.83	16.20	110.73	0.66	2.59
7.00	15.91	111.38	0.65	2.15
7.17	15.63	112.02	0.64	1.84
7.33	15.36	112.64	0.62	1.61
7.50	15.10	113.25	0.61	1.43
7.67	14.85	113.85	0.60	1.29
7.83	14.61	114.44	0.59	1.18
8.00	14.38	115.02	0.58	1.09
8.17	14.15	115.58	0.57	1.01
8.33	13.94	116.14	0.56	0.94
8.50	13.73	116.69	0.55	0.88
8.67	13.53	117.23	0.54	0.83
8.83	13.33	117.76	0.53	0.79
9.00	13.14	118.28	0.52	0.75
9.17	12.96	118.79	0.51	0.71
9.33	12.78	119.29	0.50	0.68
9.50	12.61	119.79	0.50	0.65
9.67	12.44	120.28	0.49	0.62
9.83	12.28	120.76	0.48	0.60
10.00	12.12	121.23	0.47	0.58
10.17	11.97	121.70	0.47	0.56
10.33	11.82	122.16	0.46	0.54
10.50	11.68	122.62	0.46	0.17
10.67	11.54	123.07	0.45	0.50
10.83	11.40	123.51	0.44	0.49
11.00	11.27	123.95	0.44	0.47
11.17	11.14	124.38	0.43	0.46
11.33	11.01	124.81	0.43	0.45
11.50	10.89	125.23	0.42	0.44
11.67	10.77	125.64	0.42	0.43
11.83	10.65	126.05	0.41	0.42
12.00	10.54	126.46	0.41	0.41

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	236.86	0.00		
0.17	165.71	27.62	27.62	0.48
0.33	129.70	43.23	15.61	0.49
0.50	107.61	53.80	10.57	0.51
0.67	92.54	61.69	7.89	0.52
0.83	81.54	67.95	6.25	0.53
1.00	73.11	73.11	5.16	0.55
1.17	66.43	77.51	4.39	0.56
1.33	60.99	81.33	3.82	0.58
1.50	56.47	84.71	3.38	0.60
1.67	52.64	87.74	3.03	0.62
1.83	49.36	90.48	2.75	0.64
2.00	46.50	93.00	2.52	0.66
2.17	43.99	95.32	2.32	0.69
2.33	41.77	97.47	2.15	0.72
2.50	39.79	99.48	2.01	0.75
2.67	38.01	101.37	1.89	0.78
2.83	36.40	103.14	1.78	0.81
3.00	34.94	104.82	1.68	0.85
3.17	33.61	106.42	1.59	0.90
3.33	32.38	107.93	1.52	0.95
3.50	31.25	109.38	1.45	1.00
3.67	30.21	110.77	1.38	1.07
3.83	29.24	112.09	1.33	1.14
4.00	28.34	113.37	1.27	1.23
4.17	27.50	114.59	1.23	1.33
4.33	26.72	115.77	1.18	1.45
4.50	25.98	116.91	1.14	1.59
4.67	25.29	118.02	1.10	1.78
4.83	24.64	119.08	1.07	2.01
5.00	24.02	120.12	1.03	2.32
5.17	23.44	121.12	1.00	2.75
5.33	22.89	122.10	0.97	3.38
5.50	22.37	123.04	0.95	4.39
5.67	21.88	123.97	0.92	6.25
5.83	21.41	124.86	0.90	10.57
6.00	20.96	125.74	0.88	27.62
6.17	20.53	126.59	0.85	15.61
6.33	20.12	127.43	0.83	7.89
6.50	19.73	128.24	0.81	5.16
6.67	19.36	129.04	0.80	3.82
6.83	19.00	129.82	0.78	3.03
7.00	18.65	130.58	0.76	2.52

Πίνακας Π1.25 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
7.17	18.32	131.32	0.75	2.15
7.33	18.01	132.06	0.73	1.89
7.50	17.70	132.77	0.72	1.68
7.67	17.41	133.47	0.70	1.52
7.83	17.13	134.16	0.69	1.38
8.00	16.86	134.84	0.68	1.27
8.17	16.59	135.51	0.66	1.18
8.33	16.34	136.16	0.65	1.10
8.50	16.09	136.80	0.64	1.03
8.67	15.86	137.43	0.63	0.97
8.83	15.63	138.05	0.62	0.92
9.00	15.41	138.66	0.61	0.88
9.17	15.19	139.26	0.60	0.83
9.33	14.98	139.85	0.59	0.80
9.50	14.78	140.43	0.58	0.76
9.67	14.59	141.01	0.57	0.73
9.83	14.40	141.57	0.56	0.70
10.00	14.21	142.13	0.56	0.68
10.17	14.03	142.68	0.55	0.65
10.33	13.86	143.22	0.54	0.63
10.50	13.69	143.75	0.53	0.61
10.67	13.53	144.28	0.53	0.59
10.83	13.37	144.80	0.52	0.57
11.00	13.21	145.31	0.51	0.56
11.17	13.06	145.82	0.51	0.54
11.33	12.91	146.32	0.50	0.53
11.50	12.77	146.81	0.49	0.51
11.67	12.63	147.30	0.49	0.50
11.83	12.49	147.78	0.48	0.49
12.00	12.35	148.25	0.48	0.48

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	275.26	0.00	0.00	
0.17	192.57	32.09	32.09	0.56
0.33	150.72	50.24	18.15	0.57
0.50	125.05	62.53	12.29	0.59
0.67	107.54	71.69	9.17	0.60
0.83	94.75	78.96	7.27	0.62
1.00	84.96	84.96	7.89	0.64
1.17	77.20	90.07	5.11	0.66
1.33	70.88	94.51	4.44	0.68
1.50	65.62	98.44	3.93	0.70
1.67	61.18	101.96	3.52	0.72
1.83	57.36	105.15	3.19	0.75
2.00	54.04	108.08	2.92	0.77
2.17	51.13	110.77	2.70	0.80
2.33	48.55	113.27	2.50	0.83
2.50	46.24	115.61	2.34	0.87
2.67	44.18	117.80	2.19	0.90
2.83	42.31	119.86	2.06	0.95
3.00	40.61	121.82	1.95	0.99
3.17	39.05	123.67	1.85	1.04
3.33	37.63	125.43	1.76	1.10
3.50	36.32	127.11	1.68	1.17
3.67	35.11	128.72	1.61	1.24
3.83	33.98	130.26	1.54	1.33
4.00	32.94	131.74	1.48	1.42
4.17	31.96	133.17	1.42	1.54
4.33	31.05	134.54	1.37	1.68
4.50	30.19	135.87	1.33	1.85
4.67	29.39	137.15	1.28	2.06
4.83	28.63	138.39	1.24	2.34
5.00	27.92	139.59	1.20	2.70
5.17	27.24	140.76	1.17	3.19
5.33	26.60	141.89	1.13	3.93
5.50	26.00	142.99	1.10	5.11
5.67	25.42	144.06	1.07	7.27
5.83	24.88	145.11	1.04	12.29
6.00	24.35	146.12	1.02	32.09
6.17	23.86	147.12	0.99	18.15
6.33	23.38	148.08	0.97	9.17
6.50	22.93	149.03	0.95	7.89
6.67	22.49	149.96	0.93	4.44
6.83	22.08	150.86	0.90	3.52
7.00	21.68	151.75	0.89	2.92

Πίνακας Π1.26 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
7.17	21.29	152.61	0.87	2.50
7.33	20.93	153.46	0.85	2.19
7.50	20.57	154.29	0.83	1.95
7.67	20.23	155.11	0.82	1.76
7.83	19.90	155.91	0.80	1.61
8.00	19.59	156.70	0.79	1.48
8.17	19.28	157.47	0.77	1.37
8.33	18.99	158.23	0.76	1.28
8.50	18.70	158.98	0.75	1.20
8.67	18.43	159.71	0.73	1.13
8.83	18.16	160.43	0.72	1.07
9.00	17.90	161.14	0.71	1.02
9.17	17.65	161.84	0.70	0.97
9.33	17.41	162.52	0.69	0.93
9.50	17.18	163.20	0.68	0.89
9.67	16.95	163.87	0.67	0.85
9.83	16.73	164.52	0.66	0.82
10.00	16.52	165.17	0.65	0.79
10.17	16.31	165.81	0.64	0.76
10.33	16.11	166.44	0.63	0.73
10.50	15.91	167.06	0.62	0.71
10.67	15.72	167.67	0.61	0.69
10.83	15.53	168.27	0.60	0.67
11.00	15.35	168.87	0.60	0.65
11.17	15.18	169.45	0.59	0.63
11.33	15.00	170.04	0.58	0.61
11.50	14.84	170.61	0.57	0.60
11.67	14.67	171.17	0.57	0.58
11.83	14.51	171.73	0.56	0.57
12.00	14.36	172.29	0.55	0.55

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	434.93	0.00	0.00	
0.17	304.27	50.71	50.71	0.88
0.33	238.15	79.38	28.67	0.91
0.50	197.59	98.80	19.41	0.93
0.67	169.92	113.28	14.49	0.95
0.83	149.72	124.77	11.48	0.98
1.00	134.25	134.25	7.89	1.01
1.17	121.99	142.32	8.07	1.04
1.33	112.00	149.33	7.01	1.07
1.50	103.69	155.54	6.21	1.10
1.67	96.66	161.10	5.57	1.14
1.83	90.63	166.15	5.05	1.18
2.00	85.38	170.77	4.62	1.22
2.17	80.78	175.03	4.26	1.27
2.33	76.71	178.98	3.95	1.32
2.50	73.07	182.67	3.69	1.37
2.67	69.80	186.13	3.46	1.43
2.83	66.85	189.39	3.26	1.50
3.00	64.16	192.48	3.08	1.57
3.17	61.71	195.41	2.93	1.65
3.33	59.46	198.19	2.78	1.74
3.50	57.38	200.85	2.66	1.84
3.67	55.47	203.39	2.54	1.96
3.83	53.69	205.82	2.44	2.09
4.00	52.04	208.16	2.34	2.25
4.17	50.50	210.41	2.25	2.44
4.33	49.06	212.58	2.17	2.66
4.50	47.71	214.68	2.09	2.93
4.67	46.44	216.70	2.02	3.26
4.83	45.24	218.66	1.96	3.69
5.00	44.11	220.56	1.90	4.26
5.17	43.05	222.41	1.84	5.05
5.33	42.04	224.20	1.79	6.21
5.50	41.08	225.94	1.74	8.07
5.67	40.17	227.63	1.69	11.48
5.83	39.30	229.28	1.65	19.41
6.00	38.48	230.88	1.61	50.71
6.17	37.70	232.45	1.57	28.67
6.33	36.94	233.98	1.53	14.49
6.50	36.23	235.48	1.50	7.89
6.67	35.54	236.94	1.46	7.01
6.83	34.88	238.37	1.43	5.57
7.00	34.25	239.77	1.40	4.62

Πίνακας Π1.27 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
7.17	33.65	241.14	1.37	3.95
7.33	33.07	242.48	1.34	3.46
7.50	32.51	243.80	1.32	3.08
7.67	31.97	245.09	1.29	2.78
7.83	31.45	246.35	1.27	2.54
8.00	30.95	247.60	1.24	2.34
8.17	30.47	248.82	1.22	2.17
8.33	30.00	250.01	1.20	2.02
8.50	29.55	251.19	1.18	1.90
8.67	29.12	252.35	1.16	1.79
8.83	28.70	253.49	1.14	1.69
9.00	28.29	254.61	1.12	1.61
9.17	27.90	255.71	1.10	1.53
9.33	27.51	256.80	1.09	1.46
9.50	27.14	257.87	1.07	1.40
9.67	26.78	258.92	1.05	1.34
9.83	26.44	259.96	1.04	1.29
10.00	26.10	260.98	1.02	1.24
10.17	25.77	261.99	1.01	1.20
10.33	25.45	262.98	0.99	1.16
10.50	25.14	263.96	0.98	1.12
10.67	24.84	264.93	0.97	1.09
10.83	24.54	265.88	0.95	1.05
11.00	24.26	266.82	0.94	1.02
11.17	23.98	267.75	0.93	0.99
11.33	23.71	268.67	0.92	0.97
11.50	23.44	269.57	0.91	0.94
11.67	23.18	270.47	0.89	0.92
11.83	22.93	271.35	0.88	0.89
12.00	22.69	272.23	0.87	0.87

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

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
0.00	660.16	0.00	0.00	
0.17	461.83	76.97	76.97	1.34
0.33	361.47	120.49	43.52	1.38
0.50	299.91	149.96	29.47	1.41
0.67	257.92	171.94	21.99	1.45
0.83	227.25	189.37	17.43	1.49
1.00	203.77	203.77	14.39	1.53
1.17	185.15	216.01	12.24	1.57
1.33	169.99	226.66	10.65	1.62
1.50	157.39	236.08	9.42	1.67
1.67	146.72	244.53	8.45	1.73
1.83	137.56	252.19	7.66	1.79
2.00	129.60	259.20	7.01	1.85
2.17	122.61	265.66	6.46	1.92
2.33	116.43	271.66	6.00	2.00
2.50	110.91	277.26	5.60	2.08
2.67	105.94	282.52	5.26	2.17
2.83	101.46	287.47	4.95	2.27
3.00	97.38	292.15	4.68	2.38
3.17	93.66	296.59	4.44	2.50
3.33	90.25	300.82	4.23	2.64
3.50	87.10	304.85	4.03	2.80
3.67	84.19	308.71	3.86	2.97
3.83	81.50	312.41	3.70	3.18
4.00	78.99	315.96	3.55	3.42
4.17	76.65	319.38	3.42	3.70
4.33	74.46	322.67	3.29	4.03
4.50	72.41	325.85	3.18	4.44
4.67	70.48	328.92	3.07	4.95
4.83	68.67	331.90	2.97	5.60
5.00	66.96	334.78	2.88	6.46
5.17	65.34	337.58	2.80	7.66
5.33	63.80	340.29	2.72	9.42
5.50	62.35	342.93	2.64	12.24
5.67	60.97	345.50	2.57	17.43
5.83	59.66	348.01	2.50	29.47
6.00	58.41	350.45	2.44	76.97
6.17	57.21	352.83	2.38	43.52
6.33	56.08	355.15	2.32	21.99
6.50	54.99	357.42	2.27	14.39
6.67	53.95	359.64	2.22	10.65
6.83	52.95	361.81	2.17	8.45
7.00	51.99	363.93	2.12	7.01

Πίνακας Π1.28 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική βροχόπτωση (mm)	Διαφορά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm)	Βροχόπτωση (mm)
7.17	51.07	366.01	2.08	6.00
7.33	50.19	368.05	2.04	5.26
7.50	49.34	370.04	2.00	4.68
7.67	48.52	372.00	1.96	4.23
7.83	47.73	373.92	1.92	3.86
8.00	46.98	375.81	1.89	3.55
8.17	46.24	377.66	1.85	3.29
8.33	45.54	379.48	1.82	3.07
8.50	44.86	381.27	1.79	2.88
8.67	44.20	383.03	1.76	2.72
8.83	43.56	384.76	1.73	2.57
9.00	42.94	386.46	1.70	2.44
9.17	42.34	388.13	1.67	2.32
9.33	41.76	389.78	1.65	2.22
9.50	41.20	391.40	1.62	2.12
9.67	40.65	393.00	1.60	2.04
9.83	40.13	394.57	1.57	1.96
10.00	39.61	396.12	1.55	1.89
10.17	39.11	397.65	1.53	1.82
10.33	38.63	399.16	1.51	1.76
10.50	38.16	400.65	1.49	1.70
10.67	37.70	402.11	1.47	1.65
10.83	37.25	403.56	1.45	1.60
11.00	36.82	404.99	1.43	1.55
11.17	36.39	406.40	1.41	1.51
11.33	35.98	407.79	1.39	1.47
11.50	35.58	409.17	1.38	1.43
11.67	35.19	410.53	1.36	1.39
11.83	34.81	411.87	1.34	1.36
12.00	34.43	413.20	1.33	1.33

Παράρτημα 2: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής στην έξοδο της μη αστικής λεκάνης

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

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.49	0.60	0.75	0.88	1.03	1.62	2.46
0.50	0.83	1.01	1.27	1.49	1.73	2.74	4.82
0.67	2.17	2.64	3.34	4.29	5.85	17.55	47.29
0.83	1.23	1.61	3.10	5.08	7.98	26.57	65.15
1.00	0.63	1.29	3.21	5.51	8.65	26.19	56.74
1.17	0.52	1.39	3.49	5.78	8.74	23.49	46.07
1.33	0.01	0.33	1.55	2.93	4.69	12.95	24.23
1.50	0.00	0.03	0.67	1.52	2.63	7.66	14.11
1.67	0.00	0.00	0.16	0.62	1.29	4.43	8.40
1.83	0.00	0.00	0.00	0.12	0.46	2.38	4.92
2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.08	2.73
2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.31
2.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44
2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
2.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.03	0.04	0.06	0.13	0.23	0.45	0.70
0.50	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.52	0.79
0.67	0.18	0.22	0.28	0.33	0.38	0.60	0.91
0.83	0.22	0.26	0.33	0.39	0.45	0.71	1.08
1.00	0.27	0.32	0.41	0.48	0.55	0.88	1.33
1.17	0.34	0.42	0.53	0.62	0.72	1.14	2.29
1.33	0.49	0.60	0.75	0.88	1.03	1.82	6.20
1.50	0.83	1.01	1.27	1.49	1.77	5.99	18.46
1.67	2.17	2.80	4.71	7.13	10.63	33.28	81.11
1.83	1.47	2.81	5.97	9.55	14.40	41.43	88.99
2.00	1.25	2.85	6.20	9.72	14.21	36.26	69.71
2.17	1.33	3.00	6.18	9.31	14.33	28.54	45.77
2.33	1.42	3.04	5.92	8.59	12.38	23.89	37.91
2.50	1.48	3.00	5.54	7.79	10.81	19.96	31.11
2.67	1.51	2.91	5.12	7.02	9.45	16.87	25.97
2.83	1.51	2.78	4.71	6.31	8.30	14.45	22.06
3.00	1.49	2.64	4.33	5.70	7.35	12.54	19.06
3.17	1.46	2.50	3.97	5.15	6.55	11.02	16.70
3.33	1.02	1.79	2.84	3.67	4.62	7.51	10.97
3.50	0.76	1.35	2.15	2.75	3.44	5.46	7.78
3.67	0.56	1.02	1.62	2.07	2.58	4.04	5.66
3.83	0.40	0.76	1.22	1.56	1.95	3.02	4.21
4.00	0.28	0.55	0.90	1.16	1.46	2.27	3.16
4.17	0.18	0.38	0.66	0.85	1.09	1.71	2.39
4.33	0.10	0.25	0.46	0.61	0.80	1.27	1.82
4.50	0.04	0.15	0.31	0.42	0.57	0.94	1.38
4.67	0.01	0.08	0.19	0.27	0.39	0.68	1.03
4.83	0.00	0.03	0.10	0.16	0.25	0.47	0.76
5.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.14	0.31	0.55
5.17	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.19	0.38
5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.25
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.15
5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.09	0.33
0.50	0.02	0.02	0.04	0.10	0.15	0.25	0.37
0.67	0.03	0.09	0.12	0.14	0.17	0.26	0.40
0.83	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.28	0.42
1.00	0.09	0.11	0.14	0.16	0.19	0.29	0.45
1.17	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.32	0.48
1.33	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22	0.34	0.52
1.50	0.10	0.14	0.17	0.20	0.24	0.38	0.57
1.67	0.13	0.15	0.19	0.22	0.26	0.41	0.63
1.83	0.14	0.17	0.21	0.25	0.29	0.46	0.70
2.00	0.16	0.19	0.24	0.28	0.33	0.52	0.88
2.17	0.18	0.22	0.28	0.33	0.38	0.60	1.52
2.33	0.22	0.26	0.33	0.39	0.45	0.71	2.72
2.50	0.27	0.32	0.41	0.48	0.55	1.07	4.74
2.67	0.34	0.42	0.53	0.62	0.72	2.17	8.15
2.83	0.49	0.6	0.75	0.88	1.07	4.69	14.50
3.00	0.83	1.01	1.28	1.85	2.96	11.41	29.67
3.17	2.24	3.51	6.55	10.14	15.08	43.85	97.76
3.33	2.05	4.10	8.40	13.03	19.02	49.68	99.23
3.50	1.98	4.19	8.39	12.62	17.76	41.36	74.97
3.67	2.08	4.21	7.99	11.53	15.67	33.12	56.07
3.83	2.13	4.10	7.36	10.27	13.54	26.62	43.06
4.00	2.12	3.90	6.67	9.05	11.66	21.74	34.14
4.17	2.09	3.66	6.02	7.98	10.09	18.09	27.86
4.33	2.02	3.41	5.43	7.06	8.80	15.31	23.30
4.50	1.94	3.17	4.90	6.28	7.74	13.18	19.92
4.67	1.86	2.94	4.44	5.62	6.86	11.50	17.32
4.83	1.77	2.73	4.04	5.07	6.13	10.17	15.30
5.00	1.68	2.54	3.69	4.59	5.53	9.09	13.68
5.17	1.60	2.37	3.39	4.18	5.02	8.21	12.36
5.33	1.52	2.21	3.12	3.84	4.59	7.48	11.27
5.50	1.44	2.07	2.89	3.53	4.22	6.86	10.35
5.67	1.37	1.94	2.69	3.27	3.90	6.33	9.58
5.83	1.30	1.82	2.51	3.04	3.62	5.88	8.92
6.00	1.24	1.72	2.35	2.84	3.38	5.49	8.35

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

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05
0.50	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.09	0.19
0.67	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	0.13	0.20
0.83	0.01	0.01	0.04	0.07	0.08	0.13	0.20
1.00	0.01	0.04	0.06	0.07	0.09	0.14	0.21
1.17	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.14	0.22
1.33	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.15	0.22
1.50	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.15	0.23
1.67	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.16	0.24
1.83	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.16	0.24
2.00	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.17	0.25
2.17	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.17	0.26
2.33	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.18	0.27
2.50	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.19	0.28
2.67	0.06	0.07	0.09	0.11	0.12	0.19	0.29
2.83	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.20	0.31
3.00	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.21	0.32
3.17	0.07	0.08	0.10	0.12	0.16	0.22	0.34
3.33	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.23	0.35
3.50	0.07	0.09	0.11	0.13	0.16	0.25	0.37
3.67	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.26	0.46
3.83	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.28	0.65
4.00	0.09	0.11	0.14	0.16	0.19	0.29	0.93
4.17	0.1	0.12	0.15	0.17	0.20	0.32	1.31
4.33	0.1	0.13	0.16	0.19	0.22	0.34	1.79
4.50	0.11	0.14	0.17	0.20	0.24	0.38	2.36
4.67	0.13	0.15	0.19	0.22	0.26	0.51	3.05
4.83	0.14	0.17	0.21	0.25	0.29	0.77	3.88
5.00	0.16	0.19	0.24	0.28	0.33	1.17	4.91
5.17	0.18	0.22	0.28	0.33	0.38	1.74	6.20
5.33	0.22	0.26	0.33	0.39	0.45	2.56	7.92
5.50	0.27	0.32	0.41	0.48	0.63	3.75	10.37
5.67	0.34	0.42	0.53	0.65	1.15	5.64	14.18
5.83	0.49	0.60	0.77	1.31	2.33	9.05	21.08
6.00	0.83	1.02	1.96	3.37	5.43	17.06	37.35
6.17	2.74	4.77	9.17	13.99	20.23	52.81	108.81
6.33	2.99	5.81	11.31	16.89	23.75	56.24	105.99
6.50	2.99	5.79	10.82	15.59	21.17	45.28	78.46
6.67	3.02	5.59	9.87	13.71	19.48	33.88	57.98
6.83	2.97	5.23	8.80	11.85	15.96	27.32	44.21
7.00	2.86	4.82	7.78	10.22	13.36	22.26	34.88

Πίνακας Π2.4 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
7.17	3.78	6.13	9.55	12.31	15.72	25.69	39.44
7.33	3.57	5.60	8.47	10.74	13.48	21.72	32.93
7.50	3.35	5.11	7.55	9.45	11.70	18.67	28.10
7.67	3.13	4.68	6.76	8.39	10.27	16.28	24.41
7.83	2.93	4.29	6.09	7.50	9.11	14.38	21.53
8.00	2.75	3.94	5.52	6.76	8.15	12.85	19.24
8.17	2.58	3.64	5.04	6.13	7.36	11.60	17.37
8.33	2.42	3.37	4.62	5.60	6.69	10.56	15.83
8.50	2.27	3.13	4.26	5.14	6.13	9.68	14.55
8.67	2.14	2.92	3.94	4.74	5.65	8.94	13.45
8.83	2.01	2.73	3.66	4.40	5.23	8.30	12.53
9.00	1.90	2.56	3.42	4.10	4.87	7.74	11.72
9.17	1.80	2.41	3.21	3.84	4.56	7.26	11.01
9.33	1.71	2.27	3.02	3.61	4.28	6.84	10.39
9.50	1.62	2.15	2.85	3.41	4.04	6.46	9.84
9.67	1.55	2.04	2.69	3.22	3.82	6.13	9.35
9.83	1.48	1.94	2.55	3.05	3.62	5.82	8.91
10.00	1.41	1.85	2.43	2.90	3.45	5.55	8.51
10.17	1.35	1.76	2.31	2.77	3.29	5.31	8.15
10.33	1.29	1.68	2.21	2.64	3.14	5.09	7.82
10.50	1.24	1.61	2.12	2.53	3.01	4.88	7.52
10.67	1.19	1.54	1.85	2.43	2.89	4.70	7.24
10.83	1.15	1.48	1.84	2.34	2.78	4.53	6.99
11.00	1.11	1.43	1.79	2.25	2.68	4.37	6.75
11.17	1.07	1.38	1.73	2.17	2.58	4.22	6.53
11.33	1.03	1.33	1.68	2.09	2.50	4.08	6.33
11.50	1.00	1.29	1.63	2.03	2.41	3.96	6.14
11.67	0.96	1.24	1.58	1.96	2.34	3.84	5.96
11.83	0.93	1.20	1.54	1.90	2.27	3.73	5.79
12.00	0.91	1.17	1.50	1.85	2.20	3.62	5.63

Παράρτημα 3: Υδρογραφήματα απορροής στις εξόδους της αστικής λεκάνης

Πίνακας Π3.1 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον Ποδονίφτη, $d = 1$ h.

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.55	0.90	1.60	2.87	3.85	7.60	16.38
0.50	6.62	8.73	11.28	13.30	15.56	24.37	36.70
0.67	18.61	22.50	28.36	33.44	37.29	39.27	55.50
0.83	15.11	18.18	23.62	29.50	37.83	70.66	118.49
1.00	8.97	11.16	16.00	20.65	28.11	57.96	79.77
1.17	5.87	8.14	11.72	14.51	17.50	42.71	57.69
1.33	3.39	4.55	6.04	7.08	8.15	12.69	41.24
1.50	1.37	1.54	1.83	2.04	2.24	2.99	4.03
1.67	1.11	1.13	1.16	1.20	1.23	1.37	1.61
1.83	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.08	1.11
2.00	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
2.17	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
2.33	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
2.50	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
2.67	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
2.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Πίνακας Π3.2 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον Ποδονίφτη για $d = 3$ h

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.46	1.27
0.50	1.28	1.36	1.52	1.72	2.11	4.55	7.82
0.67	1.49	1.84	2.90	3.63	4.23	6.30	9.17
0.83	2.58	3.16	3.81	4.33	4.89	7.28	10.74
1.00	3.19	3.70	4.43	5.06	5.76	8.73	12.93
1.17	3.80	4.46	5.42	6.23	7.17	11.00	16.64
1.33	4.91	5.85	7.23	8.38	9.70	15.19	26.91
1.50	7.52	9.15	11.53	13.47	15.69	27.95	38.02
1.67	18.62	22.56	29.03	35.18	37.43	41.48	147.18
1.83	15.23	19.70	28.04	37.08	42.67	82.55	126.54
2.00	9.85	13.57	19.24	24.10	39.17	60.88	81.67
2.17	7.21	9.83	13.24	15.93	21.40	43.89	54.72
2.33	5.90	7.73	10.07	11.92	15.40	22.71	39.17
2.50	5.02	6.36	8.11	9.51	11.34	17.21	25.90
2.67	4.39	5.42	6.81	7.95	9.31	14.34	21.62
2.83	3.92	4.75	5.91	6.86	7.97	12.29	18.52
3.00	3.55	4.25	5.24	6.06	7.01	10.81	16.23
3.17	3.26	3.87	4.73	5.46	6.29	9.67	14.49
3.33	2.56	2.93	3.44	3.86	4.32	6.06	8.29
3.50	1.53	1.65	1.81	1.94	2.09	2.63	3.28
3.67	1.20	1.25	1.31	1.37	1.44	1.69	2.00
3.83	1.07	1.08	1.11	1.13	1.16	1.27	1.44
4.00	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.09	1.17
4.17	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.06
4.33	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
4.50	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
4.67	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
4.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Πίνακας Π3.3 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον Ποδονίφτη για $d = 6$ h

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.10	0.21
0.50	1.09	1.13	1.19	1.24	1.29	1.56	2.60
0.67	1.17	1.21	1.26	1.33	1.46	2.97	4.55
0.83	1.18	1.23	1.43	1.82	2.33	3.48	4.82
1.00	1.21	1.45	2.09	2.40	2.67	3.67	5.08
1.17	1.51	1.96	2.30	2.54	2.80	3.86	5.43
1.33	1.87	2.11	2.42	2.67	2.94	4.13	5.79
1.50	1.95	2.22	2.54	2.82	3.11	4.41	6.21
1.67	2.00	2.33	2.69	2.99	3.33	4.74	6.72
1.83	2.20	2.48	2.87	3.22	3.60	5.15	7.36
2.00	2.36	2.66	3.12	3.52	3.92	5.67	8.19
2.17	2.55	2.90	3.44	3.87	4.36	6.37	9.91
2.33	2.82	3.26	3.86	4.37	4.94	7.33	13.00
2.50	3.22	3.73	4.47	5.10	5.79	8.82	17.21
2.67	3.83	4.49	5.45	6.26	7.17	12.26	23.12
2.83	4.93	5.87	7.23	8.38	9.70	19.12	33.31
3.00	7.51	9.15	11.53	13.62	16.93	33.47	38.95
3.17	18.64	22.87	31.54	37.17	37.64	43.41	166.52
3.33	15.99	21.77	31.11	39.14	45.37	84.57	125.92
3.50	11.05	14.99	20.77	34.36	41.90	62.07	82.18
3.67	8.04	10.58	13.89	16.54	19.81	45.58	58.99
3.83	6.40	8.13	10.42	12.24	14.26	30.09	46.14
4.00	5.33	6.60	8.32	9.72	11.27	17.69	37.20
4.17	4.58	5.58	6.97	8.10	9.35	14.60	22.07
4.33	4.05	4.86	6.02	6.98	8.03	12.47	18.78
4.50	3.65	4.34	5.33	6.16	7.08	10.95	16.40
4.67	3.33	3.94	4.81	5.55	6.36	9.79	14.63
4.83	3.08	3.63	4.40	5.07	5.80	8.88	13.24
5.00	2.88	3.37	4.07	4.68	5.35	8.15	12.12
5.17	2.72	3.16	3.82	4.36	4.98	7.56	11.20
5.33	2.59	2.99	3.60	4.10	4.67	7.06	10.42
5.50	2.48	2.85	3.41	3.88	4.41	6.63	9.76
5.67	2.37	2.73	3.25	3.69	4.19	6.27	9.20
5.83	2.28	2.62	3.11	3.52	3.99	5.95	8.72
6.00	2.21	2.53	2.99	3.38	3.82	5.67	8.29

Πίνακας Π3.4 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον Ποδονίφτη για $d = 12$ h

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07
0.50	1.04	1.05	1.06	1.08	1.11	1.23	1.40
0.67	1.08	1.10	1.13	1.15	1.18	1.30	1.93
0.83	1.09	1.11	1.14	1.17	1.19	1.60	2.83
1.00	1.09	1.11	1.15	1.17	1.23	2.20	2.93
1.17	1.10	1.12	1.15	1.26	1.60	2.30	2.99
1.33	1.10	1.12	1.28	1.62	1.82	2.35	3.05
1.50	1.10	1.16	1.57	1.73	1.87	2.39	3.11
1.67	1.11	1.37	1.65	1.77	1.90	2.43	3.20
1.83	1.22	1.52	1.68	1.80	1.93	2.47	3.27
2.00	1.41	1.55	1.71	1.83	1.96	2.53	3.35
2.17	1.47	1.57	1.73	1.85	2.00	2.60	3.44
2.33	1.49	1.60	1.76	1.88	2.03	2.66	3.52
2.50	1.51	1.63	1.79	1.92	2.07	2.73	3.62
2.67	1.53	1.65	1.82	1.96	2.11	2.79	3.73
2.83	1.55	1.68	1.85	2.00	2.16	2.87	3.84
3.00	1.57	1.71	1.88	2.04	2.23	2.95	3.97
3.17	1.60	1.74	1.92	2.09	2.29	3.05	4.11
3.33	1.63	1.77	1.98	2.16	2.35	3.15	4.27
3.50	1.67	1.81	2.03	2.22	2.42	3.26	4.44
3.67	1.71	1.86	2.10	2.29	2.50	3.39	4.66
3.83	1.75	1.91	2.17	2.37	2.60	3.54	5.12
4.00	1.79	1.97	2.24	2.46	2.70	3.70	5.83
4.17	1.85	2.05	2.33	2.57	2.83	3.90	6.63
4.33	1.92	2.14	2.44	2.69	2.96	4.13	7.45
4.50	2.00	2.23	2.56	2.84	3.14	4.41	8.30
4.67	2.10	2.35	2.71	3.02	3.35	4.79	9.25
4.83	2.23	2.50	2.90	3.23	3.60	5.53	10.38
5.00	2.38	2.68	3.14	3.52	3.92	6.61	11.78
5.17	2.57	2.92	3.44	3.87	4.36	7.95	13.60
5.33	2.84	3.26	3.86	4.37	4.94	9.63	16.12
5.50	3.23	3.73	4.47	5.10	5.81	11.93	19.78
5.67	3.83	4.49	5.45	6.26	7.62	15.49	25.49
5.83	4.93	5.87	7.23	8.76	11.49	21.75	35.56
6.00	7.51	9.15	12.16	15.95	20.19	35.81	39.87
6.17	18.84	24.43	34.41	37.34	37.92	44.42	163.94
6.33	17.57	24.15	36.94	41.52	48.79	86.60	128.95
6.50	12.27	16.21	21.94	37.54	43.38	62.87	82.84
6.67	8.73	11.17	14.40	17.03	23.94	45.17	59.44
6.83	6.79	8.45	10.70	12.52	16.06	25.01	46.49
7.00	5.56	6.80	8.51	9.91	11.75	17.66	37.71

Πίνακας Π3.4 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
7.17	4.74	5.71	7.10	8.24	9.61	14.68	22.25
7.33	4.16	4.96	6.12	7.08	8.21	12.58	18.90
7.50	3.73	4.41	5.41	6.25	7.21	11.05	16.51
7.67	3.39	4.00	4.88	5.63	6.46	9.87	14.73
7.83	3.13	3.68	4.46	5.13	5.88	8.96	13.32
8.00	2.93	3.42	4.13	4.74	5.42	8.22	12.19
8.17	2.76	3.21	3.86	4.41	5.05	7.62	11.27
8.33	2.62	3.03	3.64	4.15	4.73	7.12	10.48
8.50	2.51	2.89	3.45	3.92	4.46	6.68	9.82
8.67	2.40	2.76	3.28	3.73	4.24	6.31	9.25
8.83	2.31	2.65	3.14	3.56	4.04	6.00	8.76
9.00	2.23	2.56	3.02	3.41	3.86	5.71	8.33
9.17	2.17	2.48	2.92	3.29	3.72	5.47	7.94
9.33	2.11	2.40	2.82	3.18	3.58	5.25	7.60
9.50	2.05	2.34	2.73	3.07	3.46	5.05	7.29
9.67	2.01	2.27	2.66	2.98	3.36	4.87	7.01
9.83	1.96	2.22	2.58	2.90	3.26	4.70	6.76
10.00	1.93	2.18	2.52	2.82	3.16	4.55	6.54
10.17	1.89	2.13	2.46	2.75	3.08	4.42	6.33
10.33	1.86	2.08	2.41	2.69	3.01	4.30	6.14
10.50	1.83	2.04	2.36	2.62	2.93	4.19	5.96
10.67	1.80	2.01	2.16	2.57	2.86	4.08	5.79
10.83	1.77	1.97	1.88	2.52	2.81	3.98	5.64
11.00	1.75	1.94	2.11	2.47	2.76	3.89	5.50
11.17	1.73	1.92	2.14	2.43	2.71	3.80	5.36
11.33	1.71	1.89	2.12	2.39	2.66	3.71	5.24
11.50	1.68	1.87	2.10	2.35	2.61	3.64	5.12
11.67	1.66	1.85	2.08	2.32	2.56	3.58	5.01
11.83	1.64	1.82	2.06	2.28	2.53	3.51	4.90
12.00	1.63	1.80	2.04	2.25	2.49	3.44	4.81

Πίνακας Π3.5 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον σκουφοειδή για $d = 1$ h.

Διάρκεια (h)	5 ETH	10 ETH	25 ETH	50 ETH	100 ETH	1000 ETH	10000 ETH
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.00	0.01	0.08	0.52	1.42	4.26	7.16
0.50	2.49	3.19	4.02	4.76	5.64	8.94	14.24
0.67	6.98	8.48	10.68	13.08	15.82	22.37	29.96
0.83	4.48	5.48	7.44	9.63	12.34	25.53	35.05
1.00	2.42	3.23	5.06	6.62	8.32	22.24	32.43
1.17	1.58	2.43	3.77	4.80	5.92	10.27	27.02
1.33	0.61	0.92	1.32	1.62	1.91	2.89	13.88
1.50	0.16	0.21	0.31	0.38	0.44	0.69	1.41
1.67	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.20	0.58
1.83	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.13
2.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05
2.17	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
2.33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
2.50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2.67	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π3.6 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον σκουφοειδή για $d = 3$ h.

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
0.50	0.00	0.02	0.08	0.19	0.45	1.48	2.57
0.67	0.15	0.35	0.76	0.99	1.20	1.98	3.04
0.83	0.62	0.81	1.05	1.25	1.46	2.35	3.58
1.00	0.83	1.02	1.30	1.54	1.80	2.90	4.40
1.17	1.07	1.32	1.69	2.00	2.35	3.73	5.93
1.33	1.53	1.90	2.43	2.88	3.35	5.38	10.46
1.50	2.64	3.26	4.07	4.79	5.65	11.00	20.89
1.67	6.98	8.53	11.31	14.73	18.70	24.62	36.49
1.83	4.56	6.25	9.25	11.95	15.06	28.32	39.82
2.00	2.83	4.21	6.19	7.74	9.43	24.68	34.93
2.17	2.12	3.11	4.36	5.37	7.59	9.62	26.40
2.33	1.73	2.41	3.30	3.98	5.13	7.67	22.18
2.50	1.45	1.95	2.61	3.16	3.83	6.08	9.61
2.67	1.24	1.63	2.16	2.58	3.11	5.02	8.06
2.83	1.08	1.40	1.83	2.19	2.61	4.27	6.93
3.00	0.95	1.22	1.59	1.91	2.27	3.72	5.82
3.17	0.85	1.08	1.41	1.69	2.00	3.30	5.14
3.33	0.51	0.63	0.78	0.91	1.04	1.53	2.11
3.50	0.21	0.26	0.32	0.36	0.42	0.61	0.83
3.67	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.29	0.41
3.83	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.14	0.20
4.00	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.10
4.17	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06
4.33	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
4.50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
4.67	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.83	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
5.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π3.7 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον σκουφοειδή για $d = 6$ h.

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.76
0.67	0.01	0.03	0.06	0.09	0.14	0.75	1.30
0.83	0.06	0.07	0.14	0.32	0.50	0.91	1.40
1.00	0.07	0.15	0.40	0.51	0.61	0.98	1.49
1.17	0.18	0.35	0.48	0.57	0.66	1.05	1.61
1.33	0.32	0.41	0.52	0.61	0.71	1.14	1.74
1.50	0.34	0.45	0.57	0.67	0.77	1.24	1.90
1.67	0.38	0.49	0.62	0.73	0.85	1.36	2.09
1.83	0.44	0.55	0.70	0.81	0.95	1.52	2.33
2.00	0.50	0.62	0.78	0.92	1.07	1.72	2.65
2.17	0.58	0.71	0.90	1.06	1.24	1.98	3.38
2.33	0.68	0.83	1.06	1.25	1.46	2.35	4.63
2.50	0.83	1.02	1.30	1.54	1.80	2.96	6.31
2.67	1.07	1.32	1.69	2.00	2.35	4.37	8.74
2.83	1.53	1.90	2.43	2.88	3.35	7.14	13.19
3.00	2.64	3.26	4.07	4.92	6.36	13.53	21.82
3.17	7.00	8.82	12.65	16.80	20.80	25.23	37.96
3.33	4.97	7.09	10.38	13.17	16.33	28.98	40.43
3.50	3.31	4.76	6.70	8.25	9.89	25.32	34.93
3.67	2.44	3.39	4.61	5.61	6.66	11.18	28.60
3.83	1.93	2.57	3.44	4.11	4.88	8.19	23.89
4.00	1.58	2.05	2.71	3.24	3.82	6.27	9.87
4.17	1.33	1.70	2.22	2.65	3.13	5.13	8.26
4.33	1.14	1.45	1.88	2.24	2.64	4.34	7.06
4.50	0.99	1.26	1.63	1.95	2.29	3.78	6.17
4.67	0.88	1.11	1.44	1.72	2.03	3.35	5.21
4.83	0.79	1.00	1.29	1.55	1.82	3.01	4.68
5.00	0.71	0.90	1.17	1.40	1.66	2.73	4.26
5.17	0.65	0.82	1.07	1.28	1.52	2.51	3.91
5.33	0.60	0.76	0.99	1.19	1.40	2.32	3.62
5.50	0.56	0.70	0.92	1.10	1.30	2.16	3.37
5.67	0.52	0.66	0.86	1.03	1.22	2.02	3.16
5.83	0.49	0.62	0.81	0.97	1.15	1.90	2.97
6.00	0.46	0.58	0.76	0.91	1.08	1.80	2.80

Πίνακας Π3.8 Τεταγμένες υδρογραφημάτων άμεσης απορροής στον σκουφοειδή για $d = 12$ h.

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.67	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08	0.39
0.83	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.22	0.67
1.00	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.44	0.70
1.17	0.03	0.04	0.05	0.08	0.21	0.47	0.72
1.33	0.03	0.04	0.09	0.21	0.30	0.49	0.74
1.50	0.04	0.05	0.20	0.26	0.32	0.50	0.76
1.67	0.04	0.12	0.23	0.28	0.33	0.52	0.79
1.83	0.06	0.18	0.25	0.29	0.34	0.54	0.82
2.00	0.13	0.20	0.26	0.30	0.35	0.56	0.84
2.17	0.17	0.21	0.27	0.31	0.36	0.57	0.87
2.33	0.18	0.22	0.27	0.32	0.37	0.60	0.91
2.50	0.18	0.23	0.28	0.33	0.39	0.62	0.94
2.67	0.19	0.24	0.30	0.35	0.40	0.65	0.98
2.83	0.20	0.25	0.31	0.36	0.42	0.67	1.02
3.00	0.21	0.26	0.32	0.38	0.44	0.70	1.07
3.17	0.22	0.27	0.34	0.40	0.46	0.74	1.12
3.33	0.23	0.28	0.36	0.42	0.48	0.77	1.18
3.50	0.24	0.30	0.38	0.44	0.51	0.81	1.24
3.67	0.26	0.31	0.40	0.46	0.54	0.86	1.33
3.83	0.27	0.33	0.42	0.49	0.58	0.92	1.52
4.00	0.29	0.35	0.45	0.53	0.62	0.98	1.81
4.17	0.31	0.38	0.48	0.57	0.66	1.05	2.13
4.33	0.33	0.41	0.52	0.61	0.71	1.14	2.46
4.50	0.36	0.45	0.57	0.67	0.77	1.24	2.79
4.67	0.40	0.49	0.62	0.73	0.85	1.39	3.16
4.83	0.45	0.55	0.70	0.81	0.95	1.71	3.61
5.00	0.50	0.62	0.78	0.92	1.07	2.15	4.16
5.17	0.58	0.71	0.90	1.06	1.24	2.68	4.89
5.33	0.68	0.83	1.06	1.25	1.46	3.33	5.91
5.50	0.83	1.02	1.30	1.54	1.81	4.25	7.37
5.67	1.07	1.32	1.69	2.01	2.60	5.71	9.77
5.83	1.53	1.90	2.43	3.10	4.14	8.29	14.31
6.00	2.64	3.26	4.42	6.02	7.68	14.68	22.68
6.17	7.18	9.61	14.53	18.46	21.41	25.73	38.68
6.33	5.66	7.97	11.30	14.11	17.32	29.53	40.47
6.50	3.77	5.23	7.10	8.61	10.24	25.70	34.80
6.67	2.72	3.61	4.82	5.80	8.04	11.18	28.60
6.83	2.08	2.71	3.55	4.23	5.39	8.01	24.01
7.00	1.67	2.13	2.78	3.32	3.99	6.30	10.24

Πίνακας Π3.8 (συνέχεια)

Διάρκεια (h)	5 ΕΤΗ	10 ΕΤΗ	25 ΕΤΗ	50 ΕΤΗ	100 ΕΤΗ	1000 ΕΤΗ	10000 ΕΤΗ
7.17	1.39	1.75	2.27	2.71	3.24	5.17	8.33
7.33	1.18	1.49	1.92	2.28	2.71	4.38	7.12
7.50	1.03	1.29	1.67	1.98	2.35	3.82	6.22
7.67	0.91	1.14	1.47	1.75	2.07	3.38	5.26
7.83	0.81	1.02	1.32	1.57	1.86	3.04	4.72
8.00	0.73	0.92	1.19	1.42	1.69	2.76	4.29
8.17	0.67	0.84	1.09	1.30	1.55	2.53	3.94
8.33	0.62	0.78	1.01	1.20	1.43	2.34	3.64
8.50	0.57	0.72	0.94	1.12	1.33	2.18	3.39
8.67	0.53	0.67	0.87	1.05	1.24	2.04	3.18
8.83	0.50	0.63	0.82	0.98	1.17	1.92	2.99
9.00	0.47	0.60	0.78	0.93	1.10	1.81	2.82
9.17	0.45	0.56	0.74	0.88	1.04	1.72	2.68
9.33	0.42	0.53	0.70	0.84	0.99	1.64	2.54
9.50	0.40	0.51	0.66	0.80	0.95	1.56	2.43
9.67	0.38	0.49	0.63	0.76	0.91	1.49	2.32
9.83	0.37	0.47	0.61	0.73	0.87	1.43	2.23
10.00	0.35	0.45	0.58	0.70	0.83	1.37	2.14
10.17	0.34	0.43	0.56	0.67	0.80	1.32	2.06
10.33	0.33	0.41	0.54	0.65	0.77	1.27	1.99
10.50	0.32	0.40	0.52	0.63	0.74	1.23	1.92
10.67	0.31	0.39	0.41	0.60	0.72	1.19	1.85
10.83	0.30	0.37	0.36	0.59	0.70	1.15	1.80
11.00	0.29	0.36	0.43	0.57	0.68	1.12	1.74
11.17	0.28	0.35	0.44	0.55	0.66	1.08	1.69
11.33	0.27	0.34	0.43	0.54	0.64	1.05	1.64
11.50	0.26	0.33	0.42	0.52	0.62	1.02	1.60
11.67	0.25	0.32	0.42	0.51	0.60	1.00	1.55
11.83	0.25	0.32	0.41	0.49	0.59	0.97	1.51
12.00	0.24	0.31	0.40	0.48	0.57	0.95	1.48

Παράρτημα 4: Αναλυτικά υδραυλικά στοιχεία αγωγών

Πίνακας Π4.1 Γεωμετρικά και υδραυλικά στοιχεία των νέων αγωγών που συμβάλλουν στον βασικό συλλεκτήρα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ(m)	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
ΟΙΤΗΣ_1	ΟΤ-4	182.35	179.70	43	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	ΟΤ-3	181.60	178.45			
ΟΙΤΗΣ_2	ΟΤ-3	181.60	178.45	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	ΟΤ-2	180.20	177.00			
ΟΙΤΗΣ_3	ΟΤ-2	180.20	177.00	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	ΟΤ-1	179.00	176.30			
ΟΙΤΗΣ_4	ΟΤ-1	179.00	176.30	57	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	ΒΣ-31	176.88	173.55			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_1	ΤΓ-4	181.35	177.35	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.6
	ΤΓ-3	180.07	176.10			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_2	ΤΓ-3	180.07	176.10	92	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΤΓ-2	177.46	174.40			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_3	ΤΓ-2	177.46	174.40	63	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΤΓ-1	176.70	173.56			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_4	ΤΓ-1	176.70	173.56	28	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΤΓ-1Β	176.15	173.19			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_4α	ΤΓ-1Β	176.15	173.19	38	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΤΓ-1Γ	175.50	172.68			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_4β	ΤΓ-1Γ	175.50	172.68	38	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΤΓ-1Δ	175.00	172.17			
ΤΑΥΓΕΤΟΥ_4γ	ΤΓ-1Δ	175.00	172.17	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΒΣ-26	174.41	170.48			
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_1	ΕΛ-6	176.60	174.00	45	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΕΛ-5	176.00	173.38			
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_2	ΕΛ-5	176.00	173.38	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΕΛ-4	175.32	172.63			
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_3	ΕΛ-4	175.32	172.63	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.2
	ΕΛ-3	174.60	171.99			
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_4	ΕΛ-3	174.60	171.99	35	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.2
	ΕΛ-2	174.00	171.42			
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_5	ΕΛ-2	174.00	171.42	33	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.2
	ΕΛ-1	173.55	170.89			
ΕΛΙΚΩΝΟΣ_6	ΕΛ-1	173.55	170.89	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.2
	ΒΣ-23	172.80	169.10			

Πίνακας Π4.1 (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1	ΑΔ-7	177.30	174.80	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.0
	ΑΔ-6	176.04	173.44			
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ2	ΑΔ-6	176.04	173.44	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.1
	ΑΔ-5	175.42	172.60			
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ3	ΑΔ-5	175.42	172.60	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.3
	ΑΔ-4	174.71	171.88			
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ4	ΑΔ-4	174.71	171.88	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.3
	ΑΔ-3	174.03	171.06			
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ5	ΑΔ-3	174.03	171.06	73	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.4
	ΑΔ-2	172.53	169.62			
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ6	ΑΔ-2	172.53	169.62	74	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.6
	ΑΔ-1	170.88	168.05			
ΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ7	ΑΔ-1	170.88	168.05	95	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.8
	ΒΣ-17	169.62	166.58			
ΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ1	ΕΜ-2	173.15	170.65	35	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.9
	ΕΜ-1	172.80	170.43			
ΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ2	ΕΜ-1	172.80	170.43	35	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.9
	ΑΔ-2	172.53	169.62			
ΚΑΛΛΑΡΗ2	7-6-1α	176.00	173.80	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΑΔ-5	175.42	172.60			
ΚΟΚΚΩΝΗ1	ΚΟΚ-2	170.35	167.95	80	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	
	ΒΣ-16	169.42	166.30			
Σ_ΔΕΛΤΑ1	ΔΛΑ-3	176.70	173.20	58	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΔΛΑ-2	172.80	169.30			
Σ_ΔΕΛΤΑ2	ΔΛΑ-2	172.80	169.30	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΔΛΑ-1	170.35	167.12			
Σ_ΔΕΛΤΑ3	ΔΛΑ-1	170.35	167.12	39	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	25Λ3-6	168.30	165.00			
Σ_ΔΕΛΤΑ4	ΔΛ-4	168.31	165.55	35	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΔΛ-3	167.85	165.15			
Σ_ΔΕΛΤΑ5	ΔΛ-3	167.85	165.15	36	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΔΛ-2	167.57	164.53			
Σ_ΔΕΛΤΑ6	ΔΛ-2	167.57	164.53	48		0.8
	ΔΛ-1	167.30	164.41			
Σ_ΔΕΛΤΑ7	ΔΛ-1	167.30	164.41	32	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΒΣ-11	166.90	164.06			
ΚΟΝΔΥΛΑΚΗ1	ΚΟΝ-3	167.40	165.20	56	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΚΟΝ-2	166.82	164.93			
ΚΟΝΔΥΛΑΚΗ2	ΚΟΝ-2	166.82	164.93	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΚΟΝ-1	166.46	164.70			
ΚΟΝΔΥΛΑΚΗ3	ΚΟΝ-1	166.46	164.70	38	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΔΛ-2	167.57	164.53			

Πίνακας Π4.1 (συνέχεια)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
B_ΠΑΥΛΟΥ1	ΒΠ-6	193.10	190.60	20	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΒΠ-5	192.70	190.23			
B_ΠΑΥΛΟΥ2	ΒΠ-5	192.70	190.23	47	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΒΠ-4	190.70	188.38			
B_ΠΑΥΛΟΥ3	ΒΠ-4	190.70	188.38	47	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΒΠ-3	189.00	186.33			
B_ΠΑΥΛΟΥ4	ΒΠ-3	189.00	186.33	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΒΠ-2	187.95	184.42			
B_ΠΑΥΛΟΥ5	ΒΠ-2	187.95	184.42	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΒΠ-1	186.45	182.51			
B_ΠΑΥΛΟΥ6	ΒΠ-1	186.45	182.51	49	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	25ΗΣ 1	184.71	180.91			
Λ.ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ	ΛΔ-1	189.70	187.50	30	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	ΒΠ-3	188.93	186.63			
ΓΙΑΣΕΜΙΩΝ1	ΓΣ-5	188.10	185.70	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	ΓΣ-4	187.10	184.65			
ΓΙΑΣΕΜΙΩΝ2	ΓΣ-4	187.10	184.65	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	ΓΣ-3	184.80	182.40			
ΓΙΑΣΕΜΙΩΝ3	ΓΣ-3	184.80	182.40	35	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	ΓΣ-2	182.39	180.10			
ΓΙΑΣΕΜΙΩΝ4	ΓΣ-2	182.39	180.10	37	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ2	178.27	175.15			
ΜΑΖΑΡΑΚΗ	MZ-2	183.30	180.90	30	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	25ΗΣ 2α	182.50	179.30			
ΒΥΡΩΝΟΣ1	ΒΡΑ-1	193.30	191.00	30	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.5
	ΒΠ-5	192.70	190.23			
ΒΥΡΩΝΟΣ2	ΒΡ-2	181.70	178.20	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	25ΗΣ 2β	180.40	176.90			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ1	ΥΑΚ-8	191.65	189.15	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΥΑΚ-7	191.30	188.55			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ2	ΥΑΚ-7	191.30	188.55	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΥΑΚ-6	191.20	187.94			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ3	ΥΑΚ-6	191.20	187.94	50	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΥΑΚ-5	188.30	185.01			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ4	ΥΑΚ-5	188.30	185.01	51	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΥΑΚ-4	185.51	182.03			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ5	ΥΑΚ-4	185.51	182.03	45	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΥΑΚ-3	182.32	179.39			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ6	ΥΑΚ-3	182.32	179.39	40	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6
	ΥΑΚ-2	179.47	177.05			
ΥΑΚΙΝΘΩΝ7	ΥΑΚ-2	179.47	177.05	34	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8
	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ1	178.32	175.80			

Πίνακας Π4.2 Γεωμετρικά και υδραυλικά στοιχεία του υφιστάμενου σκουφοειδούς αγωγού

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΦΡΕΑΤΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
ΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ1	ΔΙΑΜ1	183.92	181.72	109	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.40x2.20
	ΔΙΑΜ2	183.58	181.38			
ΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ2	ΔΙΑΜ2	183.58	181.38	110	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.40x2.20
	ΔΙΑΜ3	183.30	181.10			
ΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ3	ΔΙΑΜ3	183.30	181.10	106	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.40x2.20
	25ΗΣ_1	184.71	180.91			
25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ1	25ΗΣ_1	184.71	180.91	140	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.26x2.00
	25ΗΣ_2	184.40	180.60			
25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ2	25ΗΣ_2	184.40	180.60	41	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.26x2.00
	25ΗΣ_2α	182.50	179.30			
25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ2α	25ΗΣ_2α	182.50	179.30	75	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.26x2.00
	25ΗΣ_2β	179.30	176.90			
25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ2β	25ΗΣ_2β	179.30	176.90	27	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.26x2.00
	25ΗΣ_3	178.32	175.92			
ΣΚΟΥΦΟ1	25ΗΣ_3	178.32	175.92	60	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.20
	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ1	178.60	175.80			
ΣΚΟΥΦΟ2	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ1	178.60	175.80	130	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.20
	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ2	179.00	175.15			
ΣΚΟΥΦΟ3	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ2	178.22	175.15	130	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ	2.50x2.20
	ΒΣ_ΣΚΟΥΦΟ3	178.22	174.39			

Παράρτημα 5: Βάθη και ταχύτητες ροής στο επιφανειακό δίκτυο

Πίνακας Π5.1: Βάθη και ταχύτητες ροής στο επιφανειακό δίκτυο πλην του βασικού συλλεκτήρα, ύστερα από πλημμυρικό φαινόμενο $d = 6$ h, $T = 50$ έτη χρονική στιγμή 3:10.

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
C25ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ1	0.00	0.00	ΣΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗ	0.00	0.00
C25ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ2	0.00	0.00	ΣΚΑΛΒΟΥ1	0.00	0.00
C25ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ2α	0.00	0.00	ΣΚΑΛΒΟΥ2	0.00	0.00
C25ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ2β	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ2	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜ ΔΥΤΙΚΑ1	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ3	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜ ΔΥΤΙΚΑ2	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ4	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ5	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1α	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ6	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1β	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ7	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ2	0.00	0.00	ΣΚΟΚΚΩΝΗ1	0.07	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ3	0.00	0.00	ΣΚΟΚΚΩΝΗ2	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ4	0.00	0.00	ΣΚΟΚΚΩΝΗ3	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ5	0.00	0.00	ΣΚΟΚΚΩΝΗ4	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ6	0.00	0.00	ΣΚΟΝΔΥΛΑΚΗ1	0.00	0.00
ΣΑΓ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ7	0.06	0.56	ΣΚΟΝΔΥΛΑΚΗ2	0.00	0.00
ΣΑΜΑΡΡΥΛΙΔΟΣ1	0.00	0.00	ΣΚΟΝΔΥΛΑΚΗ3	0.00	0.00
ΣΑΜΑΡΡΥΛΙΔΟΣ2	0.00	0.00	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ1	0.00	0.00
ΣΒ ΠΑΥΛΟΥ1	0.00	0.00	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ2	0.00	0.00
ΣΒ ΠΑΥΛΟΥ2	0.00	0.00	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ3	0.00	0.00
ΣΒ ΠΑΥΛΟΥ3	0.00	0.00	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ4	0.00	0.00
ΣΒ ΠΑΥΛΟΥ4	0.00	0.00	ΣΛ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ	0.00	0.00
ΣΒ ΠΑΥΛΟΥ5	0.00	0.00	ΣΜΑΖΑΡΑΚΗ	0.00	0.00
ΣΒ ΠΑΥΛΟΥ6	0.00	0.00	ΣΜΑΛΑΚΑΣΗ	0.00	0.00
ΣΒΥΡΩΝΟΣ1	0.00	0.00	ΣΟΙΤΗΣ1	0.00	0.00
ΣΒΥΡΩΝΟΣ2	0.00	0.00	ΣΟΙΤΗΣ2	0.00	0.00
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ1	0.00	0.00	ΣΟΙΤΗΣ3	0.00	0.00
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ2	0.00	0.00	ΣΟΙΤΗΣ4	0.00	0.00
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ3	0.00	0.00	ΣΠΑΛΑΜΑ1	0.00	0.00
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ4	0.00	0.00	ΣΠΑΛΑΜΑ2	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ1	0.00	0.26	ΣΠΑΛΑΜΑ3	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ2	0.00	0.00	ΣΠΑΡΝΗΘΟΣ1	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ3	0.00	0.00	ΣΠΑΡΝΗΘΟΣ2	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ4	0.00	0.00	ΣΣΚΟΥΦΟ1	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ5	0.00	0.00	ΣΣΚΟΥΦΟ2	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ6	0.00	0.00	ΣΣΚΟΥΦΟ3	0.00	0.00
ΣΔΕΛΤΑ7	0.00	0.00	ΣΣΤΑΔΙΟΥ1	0.00	0.00

Πίνακας Π5.1 (συνέχεια)

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
CΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ1	0.00	0.00	CΣΤΑΔΙΟΥ2	0.00	0.00
CΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ2	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_1	0.11	1.93
CΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ3	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_2	0.08	0.00
CΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ1	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_3	0.15	1.36
CΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ2	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_4	0.00	0.00
CΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ3	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_4α	0.00	0.00
CΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ1	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_4β	0.00	0.00
CΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ2	0.00	0.00	CΤΑΥΓΕΤΟΥ_4γ	0.00	0.00
CΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ3	0.00	0.00	CΤΣΑΚΩΝΑ1	0.00	0.00
CΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ4	0.00	0.00	CΤΣΑΚΩΝΑ2	0.00	0.00
CΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ4	0.00	0.00	CΤΣΑΚΩΝΑ3	0.00	0.00
CΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ5	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ1	0.00	0.00
CΕΛΙΚΩΝΟΣ1	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ2	0.00	0.00
CΕΛΙΚΩΝΟΣ2	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ3	0.00	0.00
CΕΛΙΚΩΝΟΣ3	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ4	0.00	0.00
CΕΛΙΚΩΝΟΣ4	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ5	0.00	0.00
CΕΛΙΚΩΝΟΣ5	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ6	0.00	0.00
CΕΛΙΚΩΝΟΣ6	0.00	0.00	CΥΑΚΙΝΘΩΝ7	0.00	0.00
CΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ1	0.00	0.00	CΧΑΟΥΛΑΝΤ1	0.00	0.00
CΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ2	0.00	0.00	CΧΑΟΥΛΑΝΤ2	0.00	0.00
CΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ3	0.00	0.00	CΧΑΟΥΛΑΝΤ2Α	0.00	0.00
CΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ4	0.00	0.00	CΧΑΟΥΛΑΝΤ3	0.07	0.00

Πίνακας Π5.2: Βάθη και ταχύτητες ροής στους επιφανειακούς αγωγούς, του βασικού συλλεκτήρα, ύστερα από πλημμυρικό φαινόμενο $d = 6$ h, $T = 50$ έτη χρονική στιγμή 3:10.

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
CΜΑΡΑΘ_1	0.00	0.00	CΜΑΡΑΘ_19	0.07	0.00
CΜΑΡΑΘ_2	0.00	0.00	CΜΑΡΑΘ_20	0.15	1.01
CΜΑΡΑΘ_3	0.00	0.00	CΜΑΡΑΘ_21	0.15	0.97
CΜΑΡΑΘ_4	0.00	0.00	CΜΑΡΑΘ_22	0.05	0.43
CΜΑΡΑΘ_5	0.00	0.00	CΜΑΡΑΘ_23	0.03	0.00
CΜΑΡΑΘ_6	0.00	0.00	CΜΑΡΑΘ_24	0.05	0.45
CΜΑΡΑΘ_7	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ1	0.00	0.00
CΜΑΡΑΘ_8	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ2	0.02	0.00
CΜΑΡΑΘ_9	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ3	0.10	0.05
CΜΑΡΑΘ_10	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ4	0.15	0.82
CΜΑΡΑΘ_11	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ5	0.13	0.55
CΜΑΡΑΘ_12	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ6	0.00	0.00
CΜΑΡΑΘ_13	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ7	0.00	0.00
CΜΑΡΑΘ_14	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	0.00	0.00

Πίνακας Π5.2 (συνέχεια)

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
ΣΜΑΡΑΘ_15	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	0.00	0.00
ΣΜΑΡΑΘ_16	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ10	0.00	0.00
ΣΜΑΡΑΘ_17	0.00	0.00	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ11	0.00	0.00
ΣΜΑΡΑΘ_18	0.00	0.00			

Πίνακας Π5.3: Βάθη και ταχύτητες ροής στο επιφανειακό δίκτυο πλην του βασικού συλλεκτήρα, ύστερα από πλημμυρικό φαινόμενο $d = 6$ h, $T = 10000$, τη χρονική στιγμή 3:10.

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
C25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ1	0.27	0.30	ΣΚΑΛΒΟΥ1	0.00	0.00
C25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ2	0.00	0.00	ΣΚΑΛΒΟΥ2	0.00	0.00
C25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ2α	0.07	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ2	0.18	0.00
C25ΗΣ_ΜΑΡΤΙΟΥ2β	0.28	0.65	ΣΚΑΛΛΑΡΗ3	0.11	0.60
ΣΑΓ_ΔΗΜ_ΔΥΤΙΚΑ1	0.11	0.73	ΣΚΑΛΛΑΡΗ4	0.09	0.44
ΣΑΓ_ΔΗΜ_ΔΥΤΙΚΑ2	0.66	0.06	ΣΚΑΛΛΑΡΗ5	0.12	0.00
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1	0.28	1.16	ΣΚΑΛΛΑΡΗ6	0.20	0.58
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1α	0.00	0.00	ΣΚΑΛΛΑΡΗ7	0.23	0.62
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ1β	0.10	0.00	ΣΚΟΚΚΩΝΗ1	1.03	0.09
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ2	0.36	2.82	ΣΚΟΚΚΩΝΗ2	0.32	2.21
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ3	0.36	3.16	ΣΚΟΚΚΩΝΗ3	0.32	2.16
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ4	0.36	3.12	ΣΚΟΚΚΩΝΗ4	0.36	1.66
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ5	0.33	3.12	ΣΚΟΝΔΥΛΑΚΗ1	1.19	0.23
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ6	0.49	1.94	ΣΚΟΝΔΥΛΑΚΗ2	1.68	0.14
ΣΑΓ_ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ7	1.00	2.16	ΣΚΟΝΔΥΛΑΚΗ3	1.30	0.14
ΣΑΜΑΡΡΥΛΙΔΟΣ1	0.07	1.78	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ1	0.00	0.00
ΣΑΜΑΡΡΥΛΙΔΟΣ2	0.04	0.00	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ2	0.00	0.00
ΣΒ_ΠΑΥΛΟΥ1	0.16	1.84	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ3	0.00	0.00
ΣΒ_ΠΑΥΛΟΥ2	0.18	1.90	ΣΚΟΝΤΟΛΕΟΝΤΟΣ4	0.04	0.00
ΣΒ_ΠΑΥΛΟΥ3	0.23	2.65	ΣΛ.ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ	0.36	0.17
ΣΒ_ΠΑΥΛΟΥ4	0.25	2.55	ΣΜΑΖΑΡΑΚΗ	0.03	0.00
ΣΒ_ΠΑΥΛΟΥ5	0.22	2.76	ΣΜΑΛΑΚΑΣΗ	0.00	0.00
ΣΒ_ΠΑΥΛΟΥ6	0.30	1.71	ΣΟΙΤΗΣ1	0.32	2.96
ΣΒΥΡΩΝΟΣ1	0.11	0.66	ΣΟΙΤΗΣ2	0.32	3.49
ΣΒΥΡΩΝΟΣ2	0.12	0.97	ΣΟΙΤΗΣ3	0.33	3.59
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ1	0.08	1.26	ΣΟΙΤΗΣ4	0.35	3.07
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ2	0.03	0.91	ΣΠΑΛΑΜΑ1	0.92	0.04
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ3	0.04	0.00	ΣΠΑΛΑΜΑ2	0.64	0.07
ΣΓΙΑΣΕΜΙΩΝ4	0.38	0.26	ΣΠΑΛΑΜΑ3	0.13	0.74
ΣΔΕΛΤΑ1	0.24	4.31	ΣΠΑΡΝΗΘΟΣ1	0.08	1.03
ΣΔΕΛΤΑ2	0.25	4.28	ΣΠΑΡΝΗΘΟΣ2	0.08	0.35
ΣΔΕΛΤΑ3	0.76	1.01	ΣΣΚΟΥΦΟ1	0.62	1.99
ΣΔΕΛΤΑ4	0.33	0.23	ΣΣΚΟΥΦΟ2	0.81	2.51

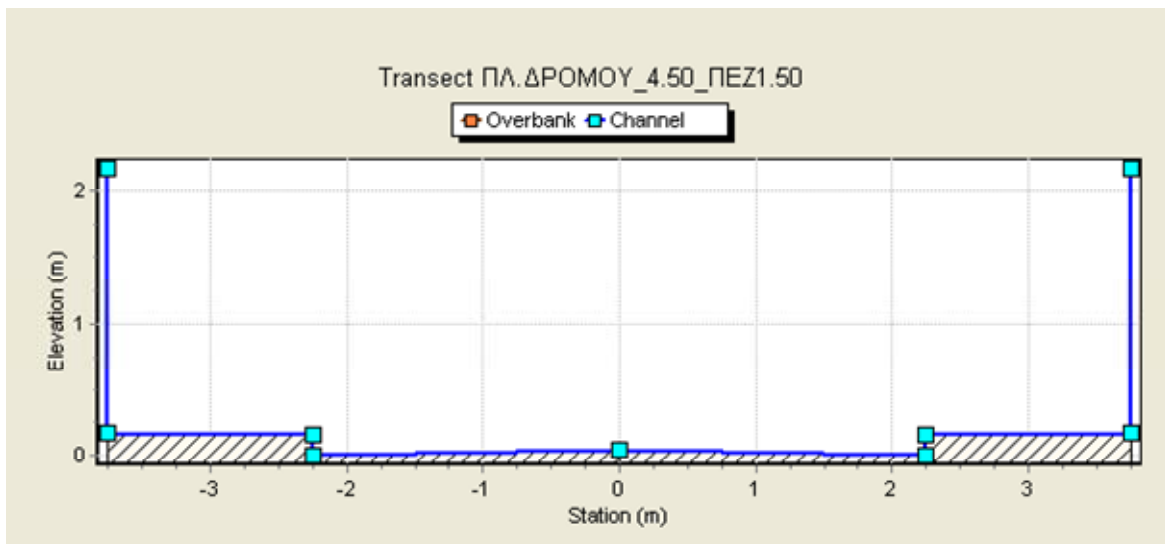
Πίνακας Π5.3 (συνέχεια)

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
ΣΔΕΛΤΑ5	0.64	0.49	ΣΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗ	0.05	0.69
ΣΔΕΛΤΑ6	0.82	0.33	ΣΣΚΟΥΦΟ3	0.58	2.61
ΣΔΕΛΤΑ7	1.08	-0.36	ΣΣΤΑΔΙΟΥ1	0.24	0.00
ΣΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ1	0.00	0.00	ΣΣΤΑΔΙΟΥ2	0.50	0.21
ΣΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ2	0.00	0.00	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_1	0.63	6.83
ΣΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ3	0.05	0.00	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_2	0.74	5.46
ΣΔΕΛΤΑ5	0.64	0.49	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_3	0.84	5.16
ΣΔΕΛΤΑ6	0.82	0.33	ΣΣΤΑΔΙΟΥ2	0.50	0.21
ΣΔΕΛΤΑ7	1.08	-0.36	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_1	0.63	6.83
ΣΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ1	0.00	0.00	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_2	0.74	5.46
ΣΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ2	0.00	0.00	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_3	0.84	5.16
ΣΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ3	0.05	0.00	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_4	0.75	5.64
ΣΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ1	1.39	-0.25	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_4α	0.81	5.31
ΣΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ2	1.69	-0.22	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_4β	0.87	5.04
ΣΔΙΑΜΑΝΤΙΔΟΥ3	1.10	-0.31	ΣΤΑΥΓΕΤΟΥ_4γ	0.94	4.72
ΣΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ1	0.21	1.32	ΣΤΣΑΚΩΝΑ1	0.10	0.94
ΣΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ2	0.28	1.06	ΣΤΣΑΚΩΝΑ2	0.13	2.07
ΣΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ3	0.00	0.00	ΣΤΣΑΚΩΝΑ3	0.24	0.42
ΣΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ4	0.17	0.00	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ1	0.16	0.89
ΣΕΘΝ_ΜΑΚΑΡΙΟΥ5	0.65	0.57	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ2	0.17	0.86
ΣΕΛΙΚΩΝΟΣ1	2.32	2.32	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ3	0.10	2.49
ΣΕΛΙΚΩΝΟΣ2	2.45	2.45	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ4	0.11	1.99
ΣΕΛΙΚΩΝΟΣ3	2.34	2.34	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ5	0.13	3.43
ΣΕΛΙΚΩΝΟΣ4	2.89	2.89	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ6	0.16	2.48
ΣΕΛΙΚΩΝΟΣ5	2.57	2.57	ΣΥΑΚΙΝΘΩΝ7	0.52	0.64
ΣΕΛΙΚΩΝΟΣ6	2.20	2.20	ΣΧΑΟΥΛΑΝΤ1	0.59	1.50
ΣΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ1	0.78	0.78	ΣΧΑΟΥΛΑΝΤ2	0.57	1.37
ΣΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ2	0.79	0.79	ΣΧΑΟΥΛΑΝΤ2Α	0.50	1.67
ΣΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ3	0.99	0.99	ΣΧΑΟΥΛΑΝΤ3	1.35	1.72
ΣΕΜ_ΜΠΕΝΑΚΗ4	0.52	0.52			

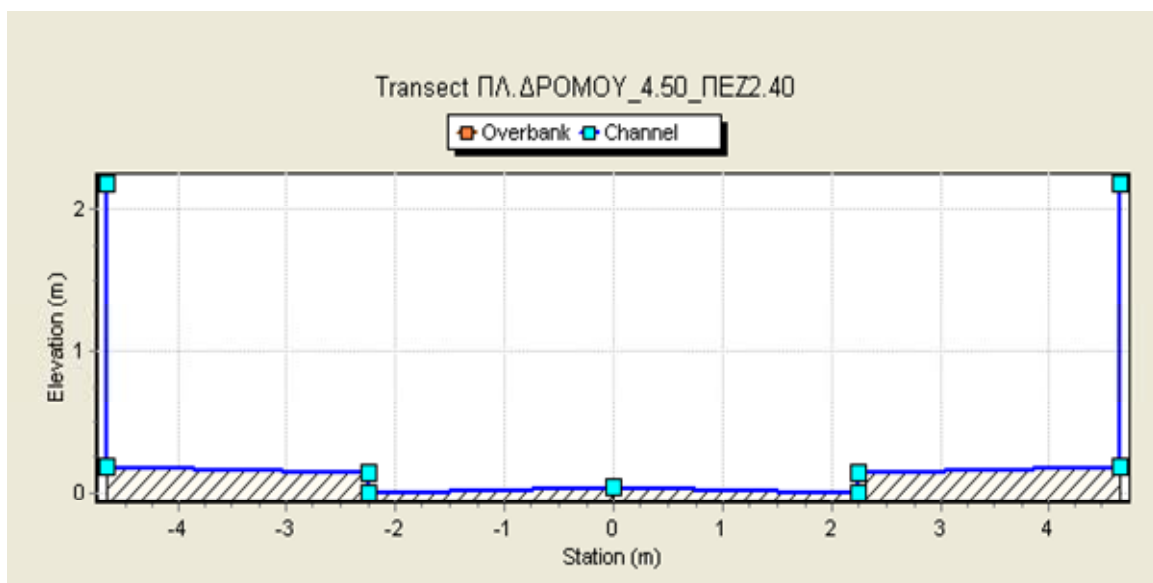
Π5.4: Βάθη και ταχύτητες ροής στους επιφανειακούς αγωγούς, του βασικού συλλεκτήρα, ύστερα από πλημμυρικό φαινόμενο $d = 6 \text{ h}$, $T = 10000$, τη χρονική στιγμή 3:10.

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ
CMAPAΘ_1	0.26	0.42	CMAPAΘ_19	1.43	5.83
CMAPAΘ_2	0.09	0.63	CMAPAΘ_20	1.52	5.67
CMAPAΘ_3	0.10	0.31	CMAPAΘ_21	1.54	5.43
CMAPAΘ_4	0.27	0.31	CMAPAΘ_22	1.42	5.68
CMAPAΘ_5	0.42	2.87	CMAPAΘ_23	1.32	6.16
CMAPAΘ_6	0.44	2.45	CMAPAΘ_24	1.36	5.99
CMAPAΘ_7	0.47	2.38	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ1	1.27	5.81
CMAPAΘ_8	0.59	1.90	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ2	1.39	5.40
CMAPAΘ_9	0.85	1.09	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ3	1.86	4.65
CMAPAΘ_10	0.98	4.78	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ4	2.10	4.24
CMAPAΘ_11	0.99	4.71	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ5	2.19	4.52
CMAPAΘ_12	1.06	4.61	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ6	2.13	4.29
CMAPAΘ_13	1.12	4.99	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ7	1.77	4.94
CMAPAΘ_14	1.19	4.86	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ8	1.37	6.40
CMAPAΘ_15	1.20	4.82	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ9	1.12	7.54
CMAPAΘ_16	1.18	4.97	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ10	1.16	7.50
CMAPAΘ_17	1.24	4.77	C28ΗΣΟΚΤΩΒΡΙΟΥ11	1.23	7.00
CMAPAΘ_18	1.32	4.55			

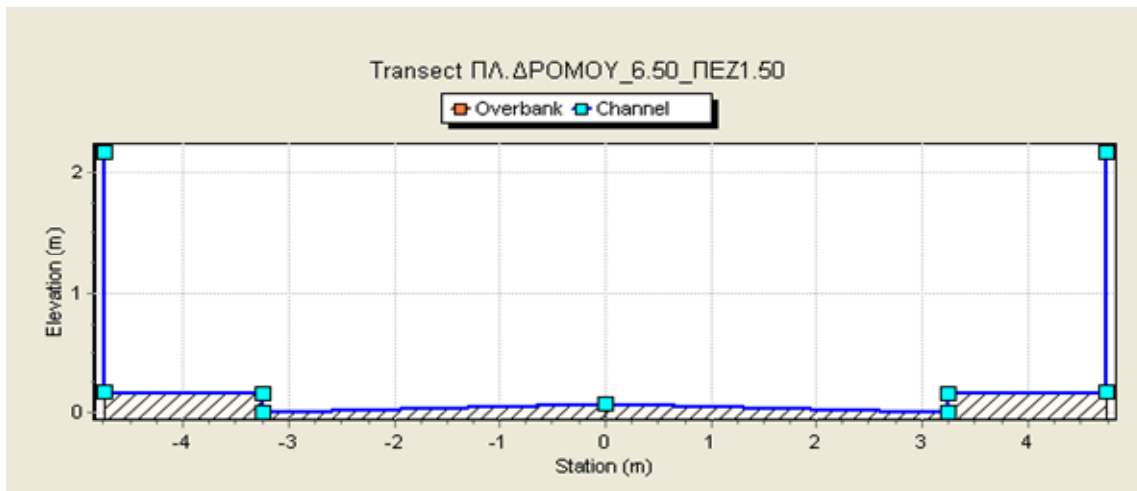
Παράρτημα 6: Διατομές επιφανειακών αγωγών



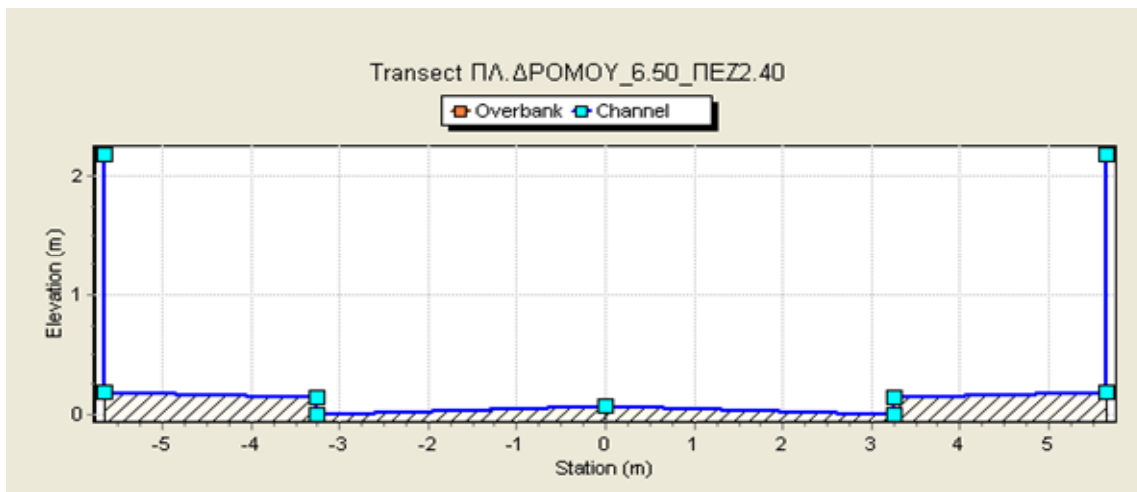
Σχήμα 1: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 4.50 m και πλάτους πεζοδρομίου 1.50 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.



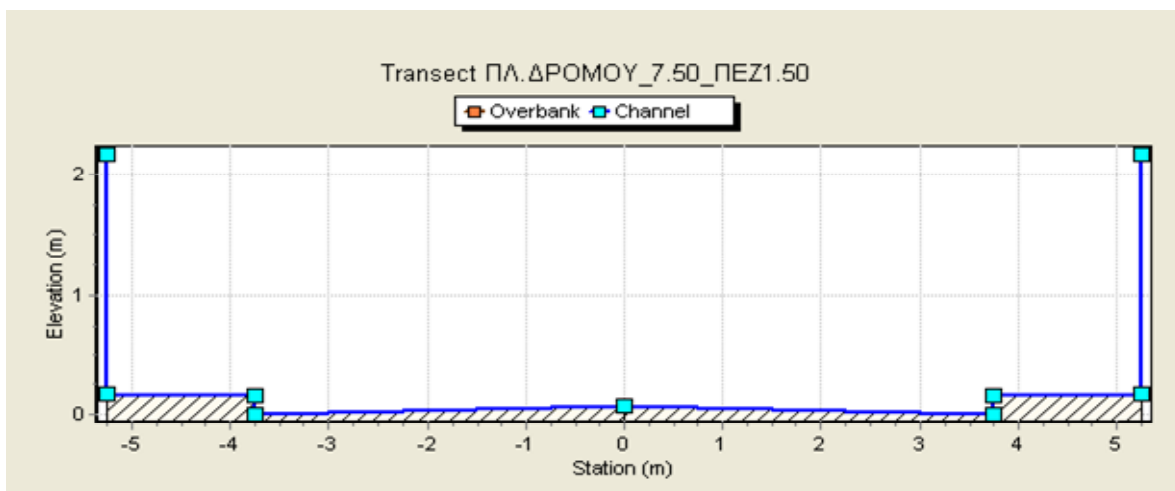
Σχήμα 2: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 4.50 m και πλάτους πεζοδρομίου 2.40 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.



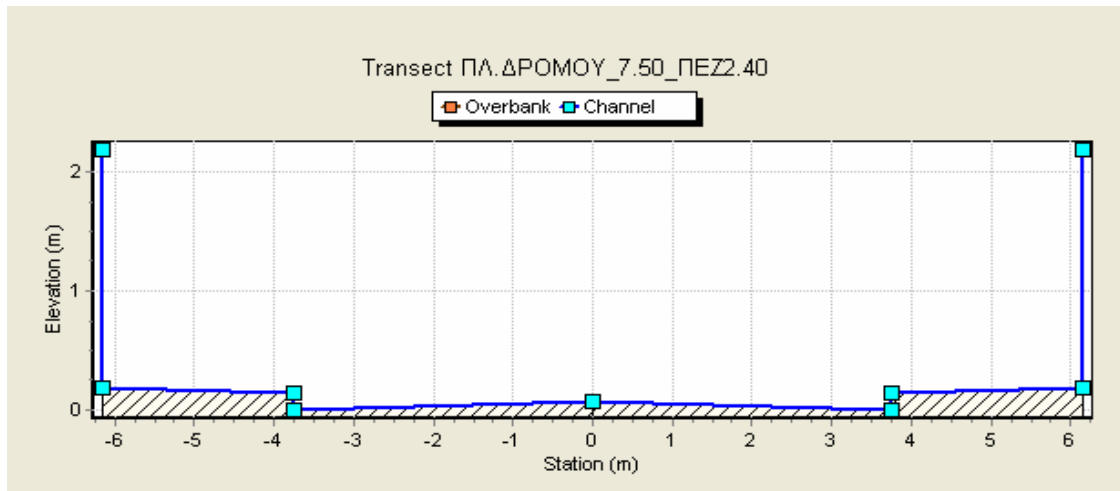
Σχήμα 3: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 6.50 m και πλάτους πεζοδρομίου 1.50 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.



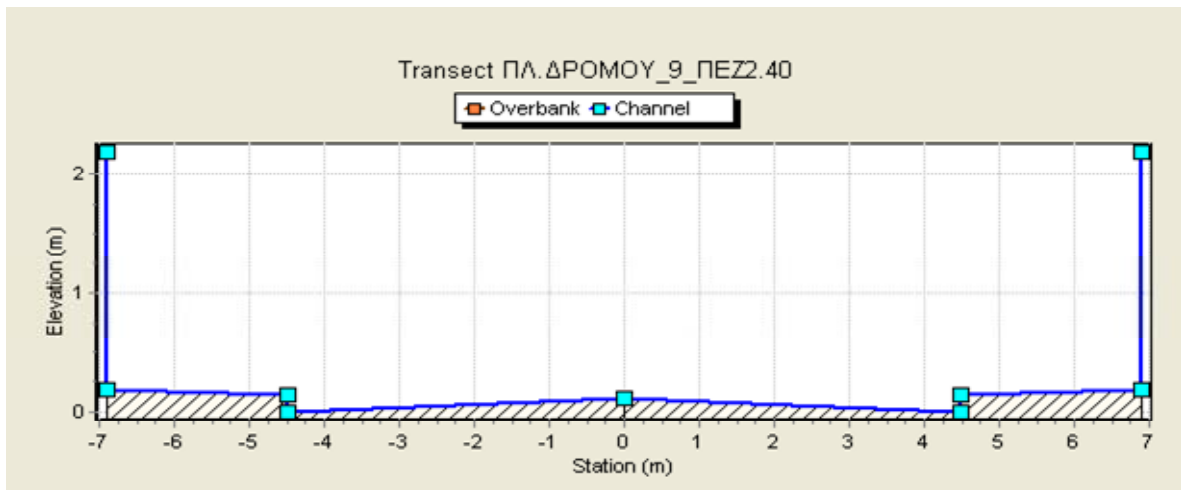
Σχήμα 4: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 6.50 m και πλάτους πεζοδρομίου 2.40 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.



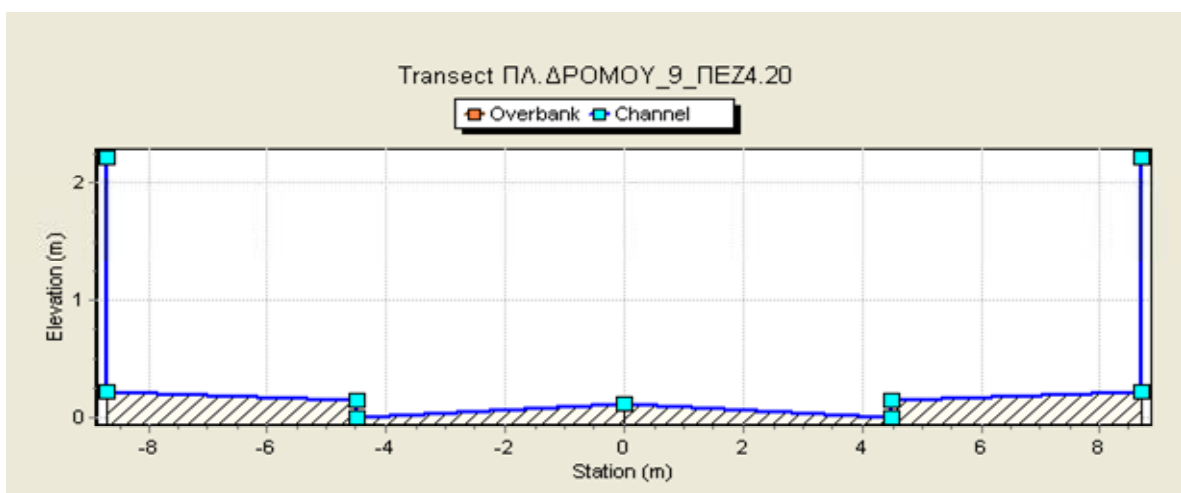
Σχήμα .5: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 7.50 m και πλάτους πεζοδρομίου 1.50 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.



Σχήμα 6: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 7.50 m και πλάτους πεζοδρομίου 2.40 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.

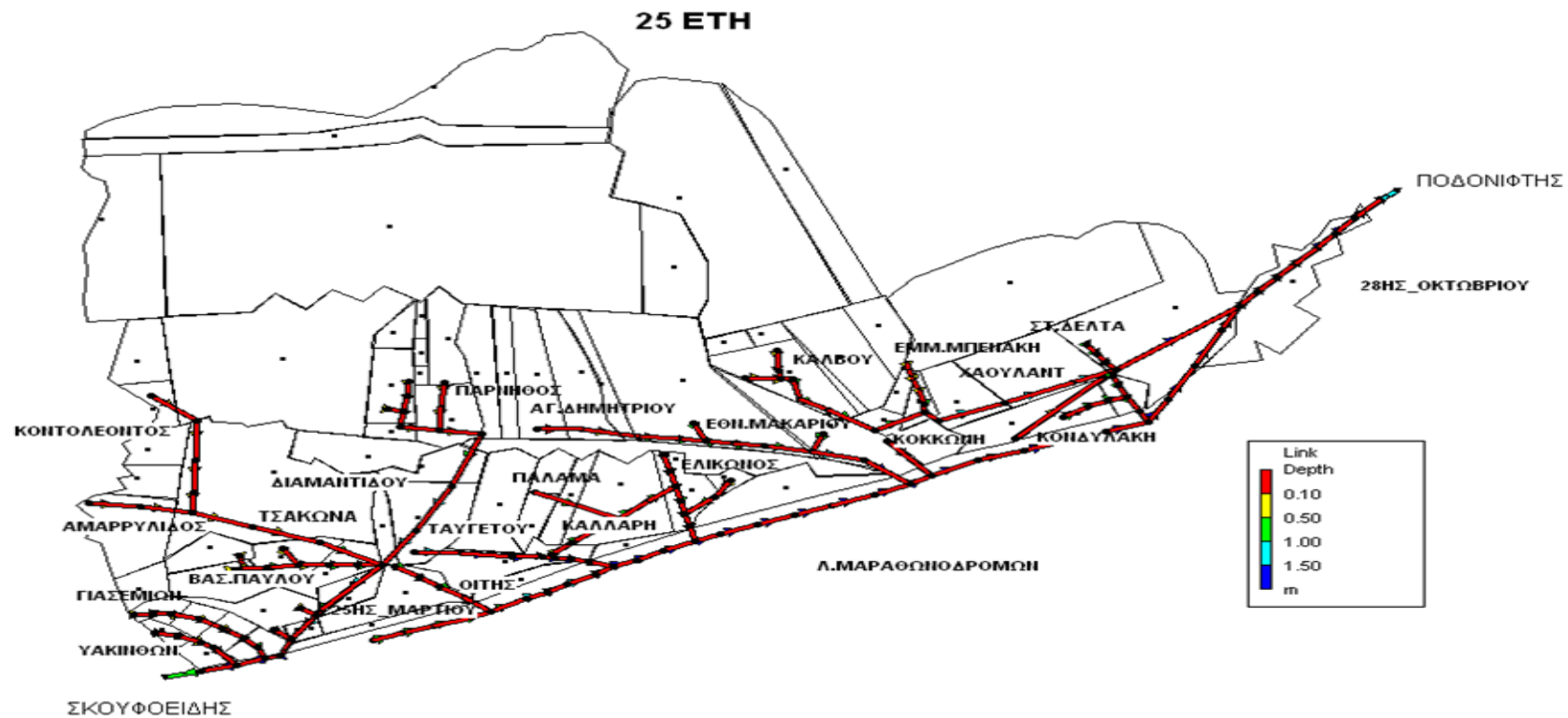


Σχήμα 7: Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 9 m και πλάτους πεζοδρομίου 2.40 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM.

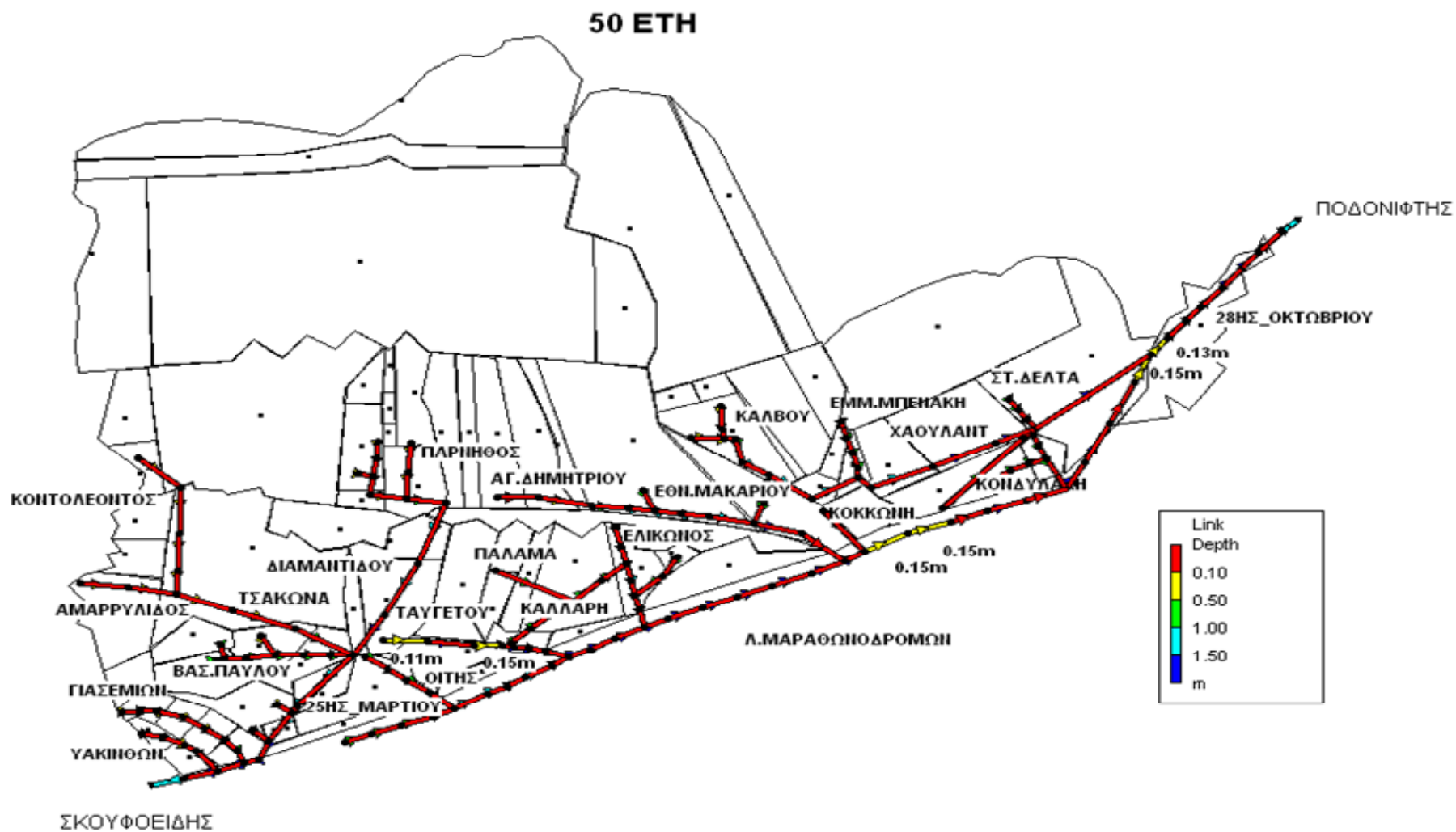


Σχήμα 8 : Διατομή επιφανειακού αγωγού πλάτους δρόμου 9 m και πλάτους πεζοδρομίου 4.20 m όπως σχεδιάστηκε στο λογισμικό SWMM

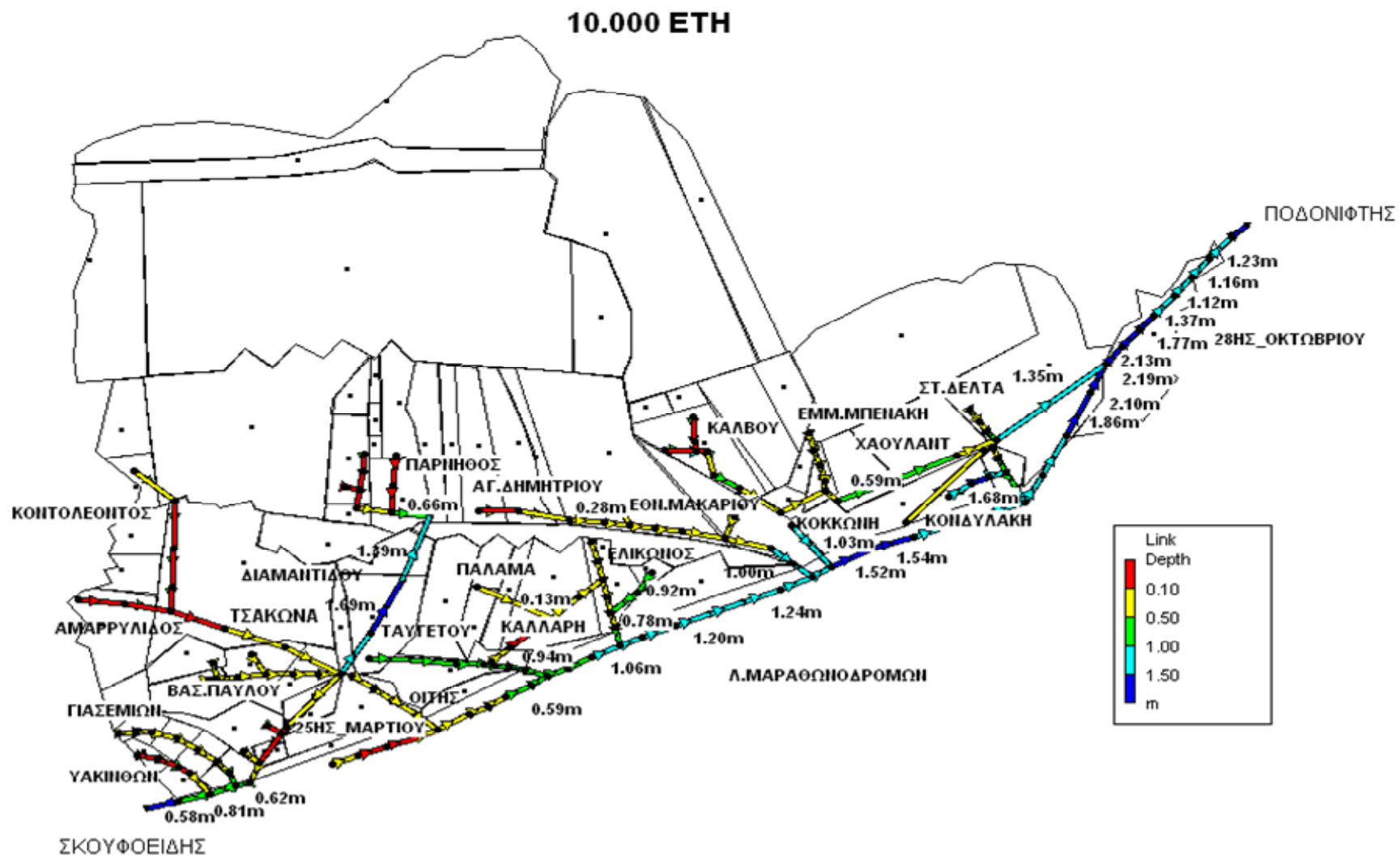
Παράρτημα 7: Χάρτες αναπαράστασης του συνολικού δικτύου.



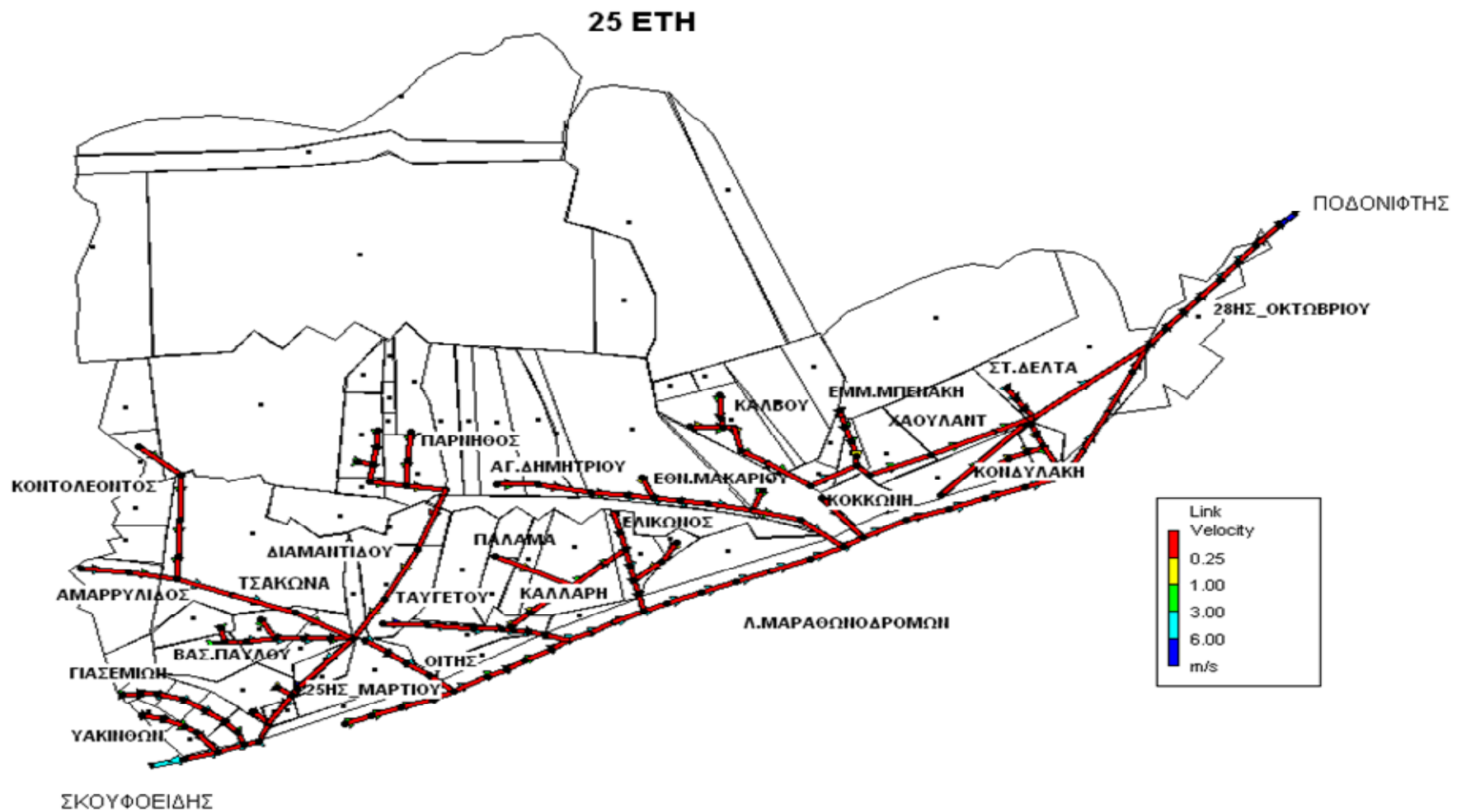
Σχήμα 9: Αναπαράσταση των επιφανειακών βαθών ροής σε όλο το δίκτυο για $T = 25$ Έτη, $d = 6$ h



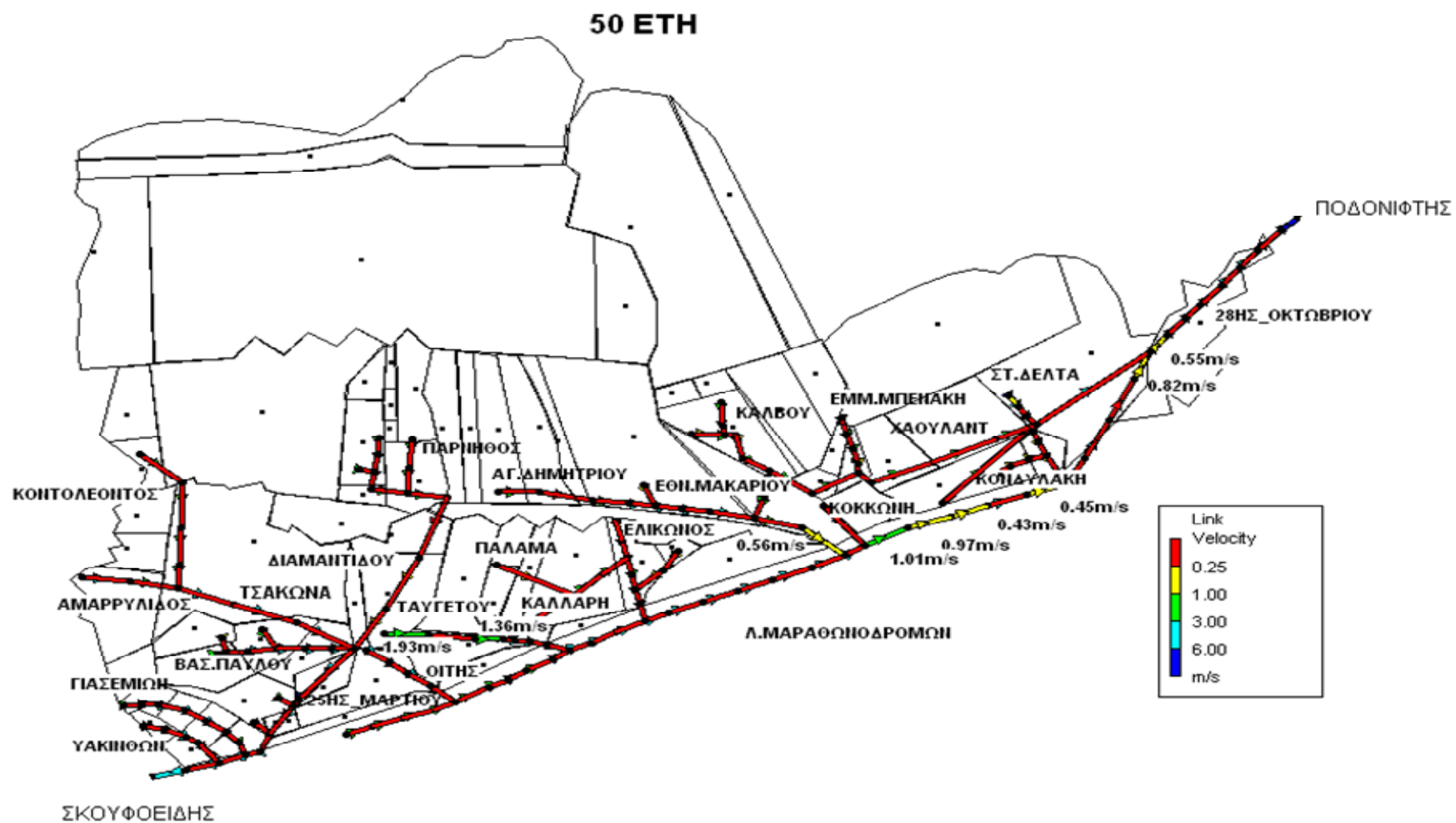
Σχήμα 10: Αναπαράσταση των επιφανειακών βαθών ροής, σε όλο το δίκτυο, για $T = 50$ Έτη, $d = 6$ h.



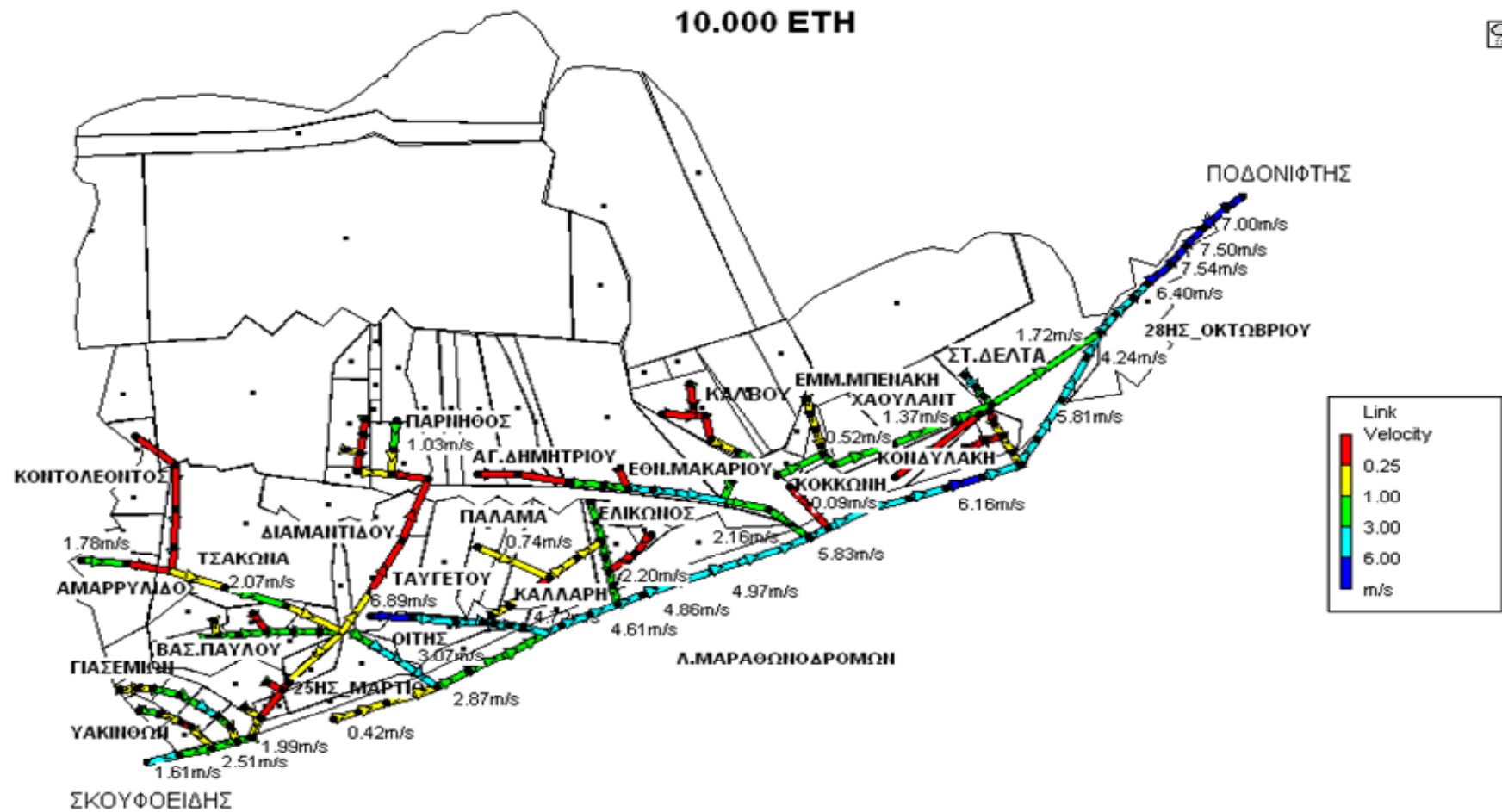
Σχήμα 11: Αναπαράσταση των επιφανειακών βαθών ροής, σε όλο το δίκτυο για $T = 10000$ Έτη, $d = 6$ h.



Σχήμα 12: Αναπαράσταση των επιφανειακών ταχυτήτων ροής, σε όλο το δίκτυο για $T = 25$ Έτη, $d = 6$ h.



Σχήμα 13: Αναπαράσταση των επιφανειακών ταχυτήτων ροής, σε όλο το δίκτυο για $T = 50$ Έτη, $d = 6$ h.



Σχήμα 14: Αναπαράσταση των επιφανειακών ταχυτήτων ροής, σε όλο το δίκτυο για $T = 10000$ Έτη, $d = 6$ h.