



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

# **ΛΕΙΦΟΡΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Νικόλαος Μικρόπουλος**

**Επιβλέπων: Επικ. Καθηγητής Χαρίλαος Βαγγέλης, Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Ιούλιος 2024**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	2
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	4
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	5
Περίληψη .....	7
Abstract .....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	10
1.1 Στόχος.....	10
1.2 Η διαχρονική σημασία των αποχετευτικών συστημάτων .....	10
1.3 Συνοπτική περιγραφή της διπλωματικής εργασίας .....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b> .....	12
2.1 Νομικό Πλαίσιο και Οδηγίες στην Ελλάδα .....	12
2.1.1 ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ .....	12
2.1.2 ΟΔΗΓΙΑ 2007/60 ΕΚ.....	15
2.1.3 Προεδρικό Διάταγμα 696/74 .....	17
2.2 Παντοροϊκά και χωριστικά δίκτυα αποχέτευσης .....	18
2.2.1 Παροχή Αποχέτευσης Ακαθάρτων.....	18
2.3 Όμβριες Καμπύλες στον Ελλαδικό Χώρο .....	20
2.3.1 Όμβριες Καμπύλες-Μαθηματική έκφραση .....	20
2.3.2 Υετογράφημα καταιγίδας .....	21
2.4 Αειφόρες Πρακτικές Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου .....	22
2.4.1 Πράσινες Στέγες .....	23
2.4.2 Περατές Επιφάνειες.....	26
2.5 Εισαγωγή στο SWMM .....	28
2.5.1 Αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου μέσω SWMM .....	39
2.6 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	50
3.1 Πληροφορίες για την περιοχή μελέτης .....	50
3.2 Ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης .....	50
3.3 Διαδικασία σχεδιασμού για τις υπολεκάνες .....	52
3.4 Εισαγωγή Δεδομένων στο SWMM .....	54
3.4.1 Υπολεκάνες .....	54
3.4.2 Αγωγοί.....	56
3.4.3 Φρεάτια .....	56
3.4.4 Προσομοίωση .....	57
3.5 Υετογραφήματα .....	58

3.6 Εφαρμογή Αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου .....	60
3.7 Παράμετροι των αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου .....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	67
4.1 Παροχή Ακαθάρτων .....	67
4.2 Υετογραφήματα Σχεδιασμού.....	68
4.3 Σενάρια .....	71
4.4 Διερεύνηση Ελαχιστοποίησης Κόστους.....	72
4.5 Αρχική Διερεύνηση .....	72
4.6 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων .....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90
<b>Παράρτημα Α:</b> .....	96

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 : Ο μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης αγωγών όμβριων σύμφωνα με το Π.Δ. 696/74 (Π.Δ. 696/74).....	17
Πίνακας 2.2 : Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών όμβριων από σκυρόδεμα σύμφωνα με το Π.Δ. 696/74 (Π.Δ. 696/74).....	17
Πίνακας 2.3: Αντικείμενα στο SWMM (Rossman, 2015) .....	29
Πίνακας 2.4: Τιμές παραμέτρου Αριθμού Καμπύλης Απορροής (Rossman, 2015, Κουτσογιάννης et al., 2016) .....	36
Πίνακας 3.1: Οι παράμετροι των 16 υπολεκανών της περιοχής μελέτης.....	54
Πίνακας 3.2: Οι υπόλοιπες παράμετροι για κάθε υπολεκάνη .....	55
Πίνακας 3.3: Οι παράμετροι των 19 αγωγών του αποχετευτικού συστήματος.....	56
Πίνακας 3.4: Παράμετροι φρεατίων στο λογισμικό SWMM.....	57
Πίνακας 3.5: Τυπικές παράμετροι για πράσινες στέγες στο λογισμικό SWMM (Rossman, 2015) ..	62
Πίνακας 3.6: Τυπικές τιμές παραμέτρων για περατά οδοστρώματα στο λογισμικό SWMM (Rossman, 2015) .....	62
Πίνακας 3.7: Παράμετροι για Πράσινες Στέγες και Περατά Οδοστρώματα στο SWMM .....	63
Πίνακας 3.8: Παράμετροι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (πράσινες στέγες) για Σενάριο 1 .....	64
Πίνακας 3.9: Παράμετροι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (περατά οδοστρώματα) για Σενάριο 2 .....	65
Πίνακας 3.10: Παράμετροι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (πράσινες στέγες) για Σενάριο 3 .....	65
Πίνακας 3.11: Παράμετροι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (περατά οδοστρώματα) για Σενάριο 3 .....	66
Πίνακας 4.1: Παροχή Ακαθάρτων για κάθε μία υπολεκάνη της περιοχής μελέτης.....	67
Πίνακας 4.2: Μέθοδος υπολογισμού του υετογραφήματος για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 έτη και διάρκειας 1 ώρας με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ .....	67
Πίνακας 4.3: Συνολικό ύψος βροχόπτωσης για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 έτη και διάρκειας 1, 2, 3 και 6 ωρών.....	71
Πίνακας 4.4: Έκταση και κόστος πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων για κάθε Σενάριο .....	75
Πίνακας 4.5: Ποσοστό μείωσης απορροής ανά 1,000,000 ευρώ κόστους .....	75
Πίνακας 4.6: Ο αριθμός των αγωγών που εμφανίζουν λόγο πλήρωσης>0.8, ταχύτητα ροής >6m/s και των φρεατίων που πλημμυρίζουν .....	76
Πίνακας 4.7: Ύψος Επιφανειακής Απορροής και Παροχή Αιχμής στην έξοδο του δικτύου για κάθε Σενάριο .....	77
Πίνακας 4.8: Όγκος Απορροής και Παροχή Αιχμής για κάθε υπολεκάνη όλων των Σεναρίων .....	81
Πίνακας 4.9: Συντελεστής Απορροής για κάθε υπολεκάνη και κάθε Σενάριο .....	83

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Όρια Δήμων της Περιοχής Μελέτης.....	19
Εικόνα 2.2: Πράσινη Στέγη (Πηγή: United States Environmental Protection Agency, 2023).....	24
Εικόνα 2.3: Περατό Πεζοδρόμιο (Πηγή: United States Environmental Protection Agency, 2023) ....	27
Εικόνα 2.4: Περιβάλλον Λογισμικού SWMM.....	29
Εικόνα 2.5: Τυπικό σύστημα αποχέτευσης (Πηγή: Rossman, 2015) .....	32
Εικόνα 2.6: Ιδιότητες βροχογράφου (Πηγή: Rossman, 2015) .....	34
Εικόνα 2.7: Ιδιότητες χρονοσειράς (Πηγή: Rossman, 2015) .....	34
Εικόνα 2.8: Είδη περιοχών μέσα σε υπολεκάνη (Πηγή: Rossman, 2015) .....	37
Εικόνα 2.9: Ιδιότητες υπολεκάνης απορροής στο λογισμικό SWMM (Πηγή: Rossman, 2015).....	39
Εικόνα 2.10: Εννοιολογική αναπαράσταση κοινής αειφόρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Πηγή: Rossman, 2015) .....	40
Εικόνα 2.11: Προσαρμογή ιδιοτήτων της υπολεκάνης λόγω τοποθέτησης αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Πηγή: Rossman, 2015) .....	41
Εικόνα 3.1: Δορυφορική απεικόνιση Ζώνης Β Παντοροϊκού Δικτύου Αθηνών .....	50
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση των ορίων λεκάνης απορροής και του αποχετευτικού δικτύου .....	51
Εικόνα 3.3: Χρήσεις Γης στην Ζώνη Β Παντοροϊκού δικτύου Αθηνών.....	51
Εικόνα 3.4: Υδροκριτικές γραμμές οικοδομικών τετραγώνων.....	52
Εικόνα 3.5: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.....	53
Εικόνα 3.6: Υπολεκάνες Ζώνης Β .....	54
Εικόνα 3.7: Απεικόνιση στο SWMM της περιοχής μελέτης.....	58
Εικόνα 3.8: Αντιπροσωπευτικές τιμές παραμέτρου $\kappa$ .....	59
Εικόνα 3.9: Αντιπροσωπευτικές τιμές παραμέτρου $\lambda'$ .....	59
Εικόνα 3.10: Αντιπροσωπευτικές τιμές παραμέτρου $\psi'$ .....	60
Εικόνα 3.11: Απεικόνιση στο Google Earth πιθανών θέσεων πράσινων στεγών και των περατών οδοστρωμάτων .....	61
Εικόνα 4.1: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 έτη , t=1h .....	68
Εικόνα 4.2: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 έτη , t=1h .....	69
Εικόνα 4.3: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 έτη , t=1h .....	69
Εικόνα 4.4: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 έτη , t=1h .....	70
Εικόνα 4.5: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 έτη , t=1h .....	70
Εικόνα 4.6: Οι δύο αρχές που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της οικονομικότερης λύσης .....	73
Εικόνα 4.7: Οι 8 προσομοιώσεις που έγιναν στην προσπάθεια βελτιστοποίησης του κόστους .....	74
Εικόνα 4.8: Συσχετισμός βροχόπτωσης-απορροής για βροχόπτωση διάρκειας 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς από 2 έως και 50 έτη .....	78
Εικόνα 4.9: Ποσοστιαία μείωση όγκου απορροής ανά υπολεκάνη και ανά Σενάριο .....	80
Εικόνα 4.10: Ποσοστιαία μείωση παροχής αιχμής ανά υπολεκάνη.....	82
Εικόνα 4.11: Ποσοστό μείωσης απορροής και παροχής αιχμής για βροχόπτωση με T=10, t=6 .....	85
Εικόνα 4.12: Υδρογράφημα βροχόπτωσης διάρκειας 6 ωρών και περιόδου επαναφοράς 10 έτη .87	
Εικόνα A.1: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=1h .....	96
Εικόνα A.2: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=2h .....	97
Εικόνα A.3: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=3h .....	98
Εικόνα A.4: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=6h .....	99

Εικόνα A.5: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=1h .....	100
Εικόνα A.6: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=2h .....	101
Εικόνα A.7: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=3h .....	102
Εικόνα A.8: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=6h .....	103
Εικόνα A.9: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=1h .....	104
Εικόνα A.10: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=2h .....	105
Εικόνα A.11: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=3h .....	106
Εικόνα A.12: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=6h .....	107
Εικόνα A.13: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=1h .....	108
Εικόνα A.14: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=2h .....	109
Εικόνα A.15: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=3h .....	110
Εικόνα A.16: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=6h .....	111
Εικόνα A.17: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=1h .....	112
Εικόνα A.18: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=2h .....	113
Εικόνα A.19: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=3h .....	114
Εικόνα A.20: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=6h .....	115

## Περίληψη

### Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στη Ζώνη Β Παντοροϊκού Δικτύου Αθηνών. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, χρησιμοποιήθηκε το υδρολογικό μοντέλο Storm Water Management Model (SWMM) του Αμερικανικού Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος (United States Environmental Protection Agency), μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση βροχοπτώσεων σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 ετών και διάρκειας 1, 2, 3 και 6 ωρών στο Παντοροϊκό αποχετευτικό δίκτυο Αθηνών.

### Μέθοδοι

Αναφορικά με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, αρχικά, περιγράφηκε ο τρόπος λειτουργίας του λογισμικού SWMM και πραγματοποιήθηκε ανάλυση των βημάτων που ακολουθήθηκαν προς την ψηφιοποίηση και μοντελοποίηση της Ζώνης Β Παντοροϊκού Δικτύου Αθηνών. Συλλέχθηκαν οι παράμετροι των υπολεκανών, φρεατίων και αγωγών στο λογισμικό QGIS, ενώ με τη βοήθεια της όμβριας καμπύλης σχεδιάστηκαν τα υετογραφήματα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ και χρονικό βήμα 5 λεπτά. Στη συνέχεια έλαβε θέση η προσομοίωση του αποχετευτικού συστήματος της περιοχής μελέτης με το λογισμικό SWMM για βροχοπτώσεις σχεδιασμού περιόδων επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 έτη και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3 και 6 ώρες.

Δημιουργήθηκαν τέσσερα Σενάρια, αυτό της τωρινής κατάστασης, αποκλειστικής χρήσης πράσινων στεγών, αποκλειστικής χρήσης περατών οδοστρωμάτων και συνδυαστικής χρήσης πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων. Οι παράμετροι των αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου προέκυψαν από την αξιοποίηση προϋπάρχουσας βιβλιογραφίας αλλά και της χρήσης του Google Earth για την εύρεση των ειδικών παραμέτρων κάθε υπολεκάνης ξεχωριστά. Τα Σενάρια αυτά προσομοιώθηκαν για τις προαναφερθείσες βροχοπτώσεις σχεδιασμού με στόχο την μείωση του όγκου, της αιχμής απορροής και των πλημμυρικών φαινομένων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της οικονομικής διάστασης των Σεναρίων, με βελτιστοποίηση του κόστους κατασκευής του Συνδυαστικού Σεναρίου.

### Αποτελέσματα

Για την διερεύνηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, δημιουργήθηκαν πίνακες και γραφήματα όπου κατεγράφη ο αριθμός των αγωγών και των φρεατίων που αδυνατούσαν να αποχετεύσουν σωστά την απορροή. Εκτός αυτού, υπολογίστηκε το ύψος της συνολικής επιφανειακής απορροής και της παροχής αιχμής στον αγωγό εξόδου για όλες τις βροχοπτώσεις σχεδιασμού. Ακόμη, μελετήθηκε ο όγκος και η αιχμή απορροής για κάθε μία υπολεκάνη σε όλα τα Σενάρια αλλά και η ποσοστιαία μείωση του όγκου και της αιχμής απορροής σε σχέση με το μηδενικό Σενάριο για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ωρών. Παράλληλα, υπολογίστηκε για κάθε υπολεκάνη ο συντελεστής

απορροής και η ποσοστιαία μείωσή του που πέτυχε το κάθε Σενάριο με τη χρήση των αιφθόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Τέλος, σχεδιάστηκε το υδρογράφημα απορροής του αγωγού εξόδου για βροχοπτώση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ωρών για τα 4 Σενάρια, και υπολογίστηκε ο συνολικός όγκος απορροής και η παροχή αιχμής στον αγωγό εξόδου.

### **Συμπεράσματα**

Η τωρινή κατάσταση του αποχετευτικού συστήματος αποδείχτηκε πως θέτει την περιοχή μελέτης σε μεγάλο κίνδυνο για πλημμυρικά φαινόμενα. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν 13 πλημμυρισμένα φρεάτια για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Στο Σενάριο 2 εντοπίστηκαν τα καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά στη μείωση της επιφανειακής απορροής, της παροχής αιχμής, του συντελεστή απορροής, των πλημμυρικών φαινομένων και του αριθμού των αγωγών που υπερβαίνουν τα όρια του Π.Δ. 696/74 για όλες τις βροχοπτώσεις σχεδιασμού. Όπως είναι λογικό, για μεγάλες περιόδους επαναφοράς, οι αιφθόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου αδυνατούσαν να επιφέρουν ουσιαστικές λύσεις στα πλημμυρικά προβλήματα. Ακόμη, το κόστος του συνδυαστικού Σεναρίου 3 υπολογίστηκε ως το μικρότερο, αν και η οικονομική διαφορά με το Σενάριο 2 ήταν μηδαμινή. Τέλος, διαπιστώθηκε, πως το ποσοστό αντικατάστασης της αδιαπέρατης επιφάνειας μιας υπολεκάνης με πράσινες στέγες ή περατά οδοστρώματα είχε άμεση συσχέτιση με το ποσοστό μείωσης του όγκου και της αιχμής απορροής.

### **Abstract**

The objective of this thesis is to evaluate and compare the effectiveness of different Low Impact Development practices in reducing the risk of flooding in urban areas. For this purpose, the software Storm Water Management Model (SWMM) was utilized, which enabled us to carry out design rainfall simulations for the combined sewer network of Athens.

Our first concern was to calculate the dry weather runoff for each subcatchment and to find the appropriate intensity-duration-frequency curve. The Greek regulations for designing drainage systems in Greece were thoroughly studied, as well as the importance and viability of Low Impact Development practices that were used in this thesis, such as green roofs and permeable surfaces.

Furthermore, we reviewed the way SWMM functions and described the steps we took in order to digitize and model Zone B of the combined sewer network of Athens. The parameters for our subcatchments, nodes and conduits were all calculated and integrated in SWMM. With the help of the intensity-duration-frequency curve combined with the alternating block method we were able to calculate the design hyetographs with a time step of 5 minutes. Finally, were able to simulate our sewer network for design storms with return periods of 2,5,10,25, 50 years and duration of 1, 2,3 and 6 hours.

Four different Scenarios were created, one with the current combined sewer system without any outside interference, one using exclusively green roofs, another one using exclusively permeable surfaces and lastly, a scenario combining the simultaneous use of both green roofs



and permeable surfaces. These Scenarios were all simulated for the aforementioned design rainfalls with the aim of reducing the peak and volume of runoff and flooding events. Finally, an attempt was made to minimize the cost of the Combined Scenario while also calculating the construction cost of each Scenario separately.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Στόχος

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές, με την αξιοποίηση του λογισμικού Storm Water Management Model (SWMM) του Αμερικανικού Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, για περιοχή μελέτης τη Ζώνη Β παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, αξιολογήθηκε η ικανότητα των πράσινων στεγών και των περατών οδοστρωμάτων στη μείωση του όγκου επιφανειακής απορροής, του συντελεστή απορροής και της αιχμής απορροής κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 έτη και διάρκειας 1, 2, 3 και 6 ώρες, ενώ παράλληλα ελέγχθηκε η σωστή λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος με βάση το Π.Δ. 696/74.

### 1.2 Η διαχρονική σημασία των αποχετευτικών συστημάτων

Από τους αρχαίους χρόνους ήταν κατανοητό, πως η διαχείριση των όμβριων υδάτων ήταν υψίστης σημασίας για την καλή λειτουργία της κοινωνίας (Barbosa et al., 2012). Τα πλημμυρικά φαινόμενα που προκαλούνται από τα όμβρια ύδατα δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη καθημερινότητα (Barbosa et al., 2012). Προηγμένα για την εποχή τους αποχετευτικά συστήματα, λειτουργούσαν στην αρχαία Ελλάδα προ τεσσάρων χιλιάδων χρόνων στην Μινωική Κρήτη και ύστερα διαδόθηκαν και στον Μυκηναϊκό πολιτισμό (Angelakis, 2005).

Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν σήμερα διαφέρουν πολύ από αυτές προ δεκαετιών (Pyke et al., 2011). Οι συνεχώς αυξανόμενες θερμοκρασίες που παρατηρούνται σε ολόκληρο τον κόσμο και η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως έντονες καταιγίδες, καύσωνες, υποδηλώνουν ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορεί να μην είναι αξιόπιστοι οδηγοί για την εκτίμηση των μελλοντικών μετεωρολογικών συνθηκών (Pyke et al., 2011).

Με βάση τα στοιχεία από μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον, στο εγγύς μέλλον, θα πρέπει τα συστήματα διαχείρισης όμβριων υδάτων να μπορούν να ανταποκριθούν κάτω από δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες (Zahmatkesh et al., 2014, Suresh et al., 2023).

Η κλιματική αλλαγή και η αστικοποίηση αυξάνουν συνεχώς την ανάγκη αναζήτησης νέων στρατηγικών διαχείρισης των όμβριων υδάτων (Eckart et al., 2017). Οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνικών διαχείρισης των όμβριων υδάτων για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων (Eckart et al., 2017). Η αστικοποίηση αυξάνει την συνολική έκταση των αδιαπέρατων επιφανειών, κάτι που συνεπάγεται μεγάλο πλημμυρικό κίνδυνο (Feng et al., 2021), αυξημένους όγκους επιφανειακής απορροής όμβριων υδάτων και διάβρωση των εδαφών (Damodaram et al., 2010).

Οι αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, μπορούν να προσφέρουν λύσεις στην αντιμετώπιση των όμβριων υδάτων (Dietz, 2007). Αυτές οι πρακτικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση της απορροής των όμβριων υδάτων, τη μείωση των πλημμυρικών φαινομένων, τη βελτίωση της ποιότητας του νερού και την προστασία του περιβάλλοντος (Ahiablame et al., 2012), ενώ παράλληλα επιδιώκουν να μιμηθούν τις φυσικές διεργασίες που παρατηρούνται στη φύση όταν δεν υπήρχε τόσο μεγάλη αστικοποίηση (Ahiablame et al., 2016). Υπάρχουν διάφορες ονομασίες για τις αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, όπως Low Impact Development (LID), Green Infrastructure (GI) στην Αμερική, Water Sensitive Urban Design (WSUD) στην Αυστραλία, Sustainable Urban Drainage System (SuDS) στην Αγγλία και Sponge City (SC) στην Κίνα (Hydro International, 2022).

### 1.3 Συνοπτική περιγραφή της διπλωματικής εργασίας

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια σύντομη ιστορική αναδρομή στη διαχρονική σημασία των αποχετευτικών συστημάτων για την ομαλή λειτουργία της κοινωνίας. Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο τρόπος λειτουργίας του λογισμικού SWMM και ακολούθησε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρθηκαν τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης στο λογισμικό SWMM. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της τωρινής κατάστασης του αποχετευτικού συστήματος της Ζώνης Β Παντοροϊκού Δικτύου Αθηνών αλλά και των εναλλακτικών Σεναρίων διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση της οικονομικής διάστασης των Σεναρίων, ενώ ακόμη αναλύθηκε και η διαδικασία ελαχιστοποίησης του κόστους κατασκευής του Συνδυαστικού Σεναρίου. Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο συγκεντρώθηκαν τα συμπεράσματα που προκύψαν από την εφαρμογή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 Νομικό Πλαίσιο και Οδηγίες στην Ελλάδα

#### 2.1.1 ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ

Η οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου του 2000. Σκοπός της είναι η θέσπιση κανόνων για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων και την επίτευξη καλής οικολογικής κατάστασης των ποταμών, των λιμνών και των υπόγειων υδάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η παρούσα οδηγία αποσκοπεί στην προστασία των υδάτινων πόρων μέσω των παρακάτω μέτρων:

#### **Άρθρο 1**

- α) Διατήρηση και βελτίωση της σημερινής κατάστασης των υδάτινων/χερσαίων οικοσυστημάτων.
- β) Κατάλληλη αξιοποίηση των υδάτινων πόρων ώστε να διατηρηθούν και για μελλοντική χρήση.
- γ) Συνεχής μείωση των απορρίψεων ρυπογόνων ουσιών και προσπάθεια εξάλειψης εκπομπών επικίνδυνων ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα.
- δ) Προστασία των υπόγειων υδάτων από ρυπογόνες ουσίες.
- ε) Καλύτερη διαχείριση των ακραίων φυσικών φαινομένων, όπως οι πλημμύρες και οι ξηρασίες.

#### **Άρθρο 3**

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να :

- Εντοπίσουν και να καταγράψουν τις λεκάνες απορροής που βρίσκονται στην εδαφική κυριαρχία τους και να γίνει η οριοθέτηση τους, με την υπαγωγή τους σε επιμέρους περιοχές λεκάνης απορροής.
- Διορίσουν την κατάλληλη αρμόδια αρχή που θα είναι υπεύθυνη για την σωστή τήρηση των κανόνων της οδηγίας 2000/60.
- Συντονίζονται μεταξύ τους σε περιπτώσεις διεθνών περιοχών λεκάνης απορροής.

#### **Άρθρο 4**

Η σωστή λειτουργία των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής καθιστά αναγκαία την εφαρμογή των οδηγιών που αφορούν στην διατήρηση, προστασία και αναβάθμιση της

κατάστασης των επιφανειακών υδάτων, των υπόγειων υδάτων και των προστατευόμενων περιοχών.

#### **Άρθρο 5**

Καθίσταται αναγκαία η ανάλυση και καταγραφή των ιδιομορφιών κάθε λεκάνης απορροής και των αρνητικών επιπτώσεων του ανθρώπινου παράγοντα στην «υγεία» των υδάτων.

#### **Άρθρο 6**

Κατάρτιση μητρώων των περιοχών που χρήζουν ειδικής προστασίας εντός της εδαφικής κυριαρχίας κάθε κράτους-μέλους, εντός τεσσάρων ετών μετά την έναρξη ισχύος της οδηγίας.

#### **Άρθρο 7**

Εντοπισμός και καταγραφή των υδάτινων συστημάτων που χρησιμοποιούνται ή θα χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για άντληση πόσιμου ύδατος και εξασφάλιση της προστασίας τους με σκοπό την αποφυγή υποβάθμισης της ποιότητάς τους και την μείωση της επεξεργασίας καθαρισμού που απαιτείται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος.

#### **Άρθρο 8**

Παρακολούθηση της οικολογικής και χημικής κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων αλλά και των προστατευόμενων περιοχών, με προγράμματα που πρέπει να τεθούν σε ισχύ μέχρι και 6 έτη μετά την έναρξη ισχύος της οδηγίας.

#### **Άρθρο 9**

Διασφάλιση πολιτικής τιμολόγησης του ύδατος που θα παρέχει κίνητρα στους χρήστες έτσι ώστε το κόστος υπηρεσίας ύδατος να ανακτάται, λαμβάνοντας υπόψη την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», κατά την οποία οι ρυπαίνοντες έχουν κίνητρο να αποφεύγουν την πρόκληση περιβαλλοντικών ζημιών και είναι υπόλογοι για τη ρύπανση που προκαλούν.

#### **Άρθρο 10**

Όλες οι απορρίψεις σε επιφανειακά ύδατα ελέγχονται με τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνικές, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές οριακές τιμές εκπομπής ή τις βέλτιστες περιβαλλοντικές πρακτικές.

#### **Άρθρο 11**

Κάθε κράτος μέλος είναι υπεύθυνο για τη θέσπιση προγράμματος μέτρων για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Οδηγίας.

#### **Άρθρο 12**

Σε περίπτωση που προκύψει ανεπίλυτο ζήτημα που αφορά το υδάτινο οικοσύστημα ενός κράτους-μέλους, υποχρεούται να ενημερώσει την Επιτροπή και να προτείνει τρόπους αντιμετώπισης.

### **Άρθρο 13**

Όλα τα κράτη μέλη οφείλουν να εξασφαλίσουν την κατασκευή σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής που βρίσκεται εντός εδαφικής κυριαρχίας τους και ενιαίου διεθνούς σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού για διεθνείς λεκάνες απορροής.

### **Άρθρο 14**

Διασφάλιση ενημέρωσης του κοινού για όλα τα παραπάνω και ενθάρρυνση ενεργής συμμετοχής όλων των ενδιαφερόμενων στην υλοποίηση της Οδηγίας, με την δημοσίευση χρονοδιαγραμμάτων εργασιών και με την επισκόπηση σημαντικών ζητημάτων διαχείρισης υδάτων.

### **Άρθρο 15**

Υποβολή αντιγράφων των εκθέσεων σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού στην Επιτροπή σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Συνοπτικές εκθέσεις σχετικά με το άρθρο 5 και 8 υποβάλλονται εντός τριών μηνών από την ολοκλήρωσή τους, ενώ πρέπει να δημοσιεύεται η πρόοδος του προγράμματος εντός τριών ετών από την δημοσίευση κάθε σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής.

### **Άρθρο 16**

Κατάρτιση ειδικών μέτρων καταπολέμησης της υδάτινης ρύπανσης από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, με σκοπό τη συνεχή μείωση και εν τέλει εξάλειψη των ρυπογόνων ουσιών. Επιπρόσθετα, δημιουργείται σειρά προτεραιότητας ανάληψης δράσης για τις ουσίες ανάλογα με την επικινδυνότητά τους, με βάση στοιχεία πιθανών ατυχημάτων ή το μέγεθος της περιβαλλοντικής ρύπανσης που μπορούν να προκαλέσουν.

### **Άρθρο 17**

Θέσπιση στρατηγικών και μεθόδων πρόληψης ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο με απώτερο σκοπό την καλή χημική κατάσταση τους, εντός δύο ετών από την έναρξη ισχύος της παρούσας Οδηγίας.

### **Άρθρο 18**

Η Επιτροπή θα πρέπει να δημοσιεύει έκθεση όπου θα αναφέρεται η πρόοδος της εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60, η κατάσταση των υδάτων στην Κοινότητα και η ανάλυση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής. Η συγκεκριμένη δημοσίευση θα υλοποιείται εντός δώδεκα ετών από την έναρξη ισχύος της παρούσας Οδηγίας και στη συνέχεια ανά εξαετία.

### **Άρθρο 19**

Η Επιτροπή οφείλει να δημοσιεύει μία φορά κάθε χρόνο, το σχέδιο για τα μελλοντικά μέτρα που αφορούν τα ύδατα.

## **Άρθρο 20**

Η επιτροπή έχει την δυνατότητα να θεσπίζει κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή των παραρτημάτων II και V.

## **Άρθρο 21**

Η Επιτροπή συνεργάζεται με «επιτροπή», η οποία θεσπίζει τον εσωτερικό της κανονισμό.

## **Άρθρο 22**

Ορίζονται τα κείμενα που θα καταργηθούν μετά από επτά και δεκατρία έτη.

## **Άρθρο 23**

Τα κράτη μέλη καταρτίζουν το πλαίσιο κυρώσεων που επιβάλλεται σε αυτούς που παραβιάζουν τα Άρθρα της Οδηγίας 2000/60.

## **Άρθρο 24**

Οι διατάξεις της παρούσας Οδηγίας τίθενται σε ισχύ το αργότερο στις 22 Δεκεμβρίου 2003 και ενημερώνουν την Επιτροπή σχετικά.

## **Άρθρο 25**

Η οδηγία τίθεται σε ισχύ την ημέρα που δημοσιεύεται στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

## **Άρθρο 26**

Τα κράτη μέλη είναι οι αποδέκτες της παρούσας Οδηγίας.

### 2.1.2 ΟΔΗΓΙΑ 2007/60 ΕΚ

Οι πλημμύρες ως φυσικά φαινόμενα έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο σε κοινωνικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο (Οδηγία 2007/60). Ενδεικτικά αναφέρεται η απώλεια ανθρώπινης ζωής, η καταστροφή περιουσιών και η υπονόμηση του περιβάλλοντος. Η περαιτέρω αστικοποίηση περιοχών με αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας, η αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω αδιαπερατότητας καθώς και η κλιματική αλλαγή προδιαθέτουν πλημμυρικά φαινόμενα (Οδηγία 2007/60).

Σκοπός της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ είναι η θέσπιση αρχών αντιμετώπισης των πλημμυρικών φαινομένων, με βασικό στόχο την διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής, του περιβάλλοντος καθώς και των πολιτιστικο-οικονομικών δραστηριοτήτων της κοινωνίας.

Αρχικά, τα κράτη μέλη, για κάθε λεκάνη απορροής που βρίσκεται εντός της εδαφικής κυριαρχίας τους, διεξάγουν μια προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας. Στην ελληνική επικράτεια, η Διεύθυνση Υδάτων της κάθε Περιφέρειας αναλαμβάνει τη συγκεκριμένη αξιολόγηση. Σε αυτή εμπεριέχονται μελέτες-σενάρια για μελλοντικές εξελίξεις

και επιπτώσεις από τη κλιματική αλλαγή στα πλημμυρικά φαινόμενα, προκειμένου να ιεραρχηθούν οι τυχόν κίνδυνοι.

Στην αξιολόγηση περιλαμβάνονται χάρτες της περιοχής ενδιαφέροντος όπου περιγράφονται τα όρια της λεκάνης απορροής, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και οι χρήσεις γης. Ακόμα, αναλύονται ιστορικά δεδομένα για πλημμύρες που σημειώθηκαν στο παρελθόν και αξιολογούνται οι συνέπειες που θα έχουν μελλοντικές πλημμύρες σε όλες τις πτυχές της ανθρώπινης ζωής, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά, τις υφιστάμενες τεχνητές υποδομές προστασίας και τις επιδράσεις από τυχόν κλιματικές μεταβολές για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού.

Με βάση την παραπάνω αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, τα κράτη μέλη εντοπίζουν τις περιοχές οι οποίες κρίνονται ότι βρίσκονται σε σοβαρό πλημμυρικό κίνδυνο.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να κατασκευάσουν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής. Οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας διαχωρίζουν τις γεωγραφικές περιοχές σε κίνδυνο χαμηλής (περίοδος επαναφοράς >1000 χρόνια), μέσης (περίοδος επαναφοράς > 100 χρόνια) και υψηλής (περίοδος επαναφοράς > 50 χρόνια) πιθανότητας πλημμύρας.

Στην Ελλάδα, οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Πολιτικής Προστασίας των Περιφερειών είναι υπεύθυνες για την δημιουργία αυτών των χαρτών. Διατίθενται στοιχεία για τον όγκο της πλημμύρας, του βάθους νερού και της ταχύτητας ροής. Ακόμη, οι χάρτες διαθέτουν στοιχεία σχετικά με τις συνέπειες που συνδέονται με αυτές τις πλημμύρες, σε ατομικό (ενδεικτικός αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν), οικονομικό (οικονομικές δραστηριότητες που θα επηρεαστούν) και περιβαλλοντικό επίπεδο (περιοχές που υπάρχει αυξημένο ποσοστό μεταφερόμενων ιζημάτων, υπολειμμάτων και άλλων πηγών ρύπανσης σε περίπτωση πλημμύρας).

Τα κράτη μέλη καταρτίζουν συντονισμένα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας. Στην Ελλάδα, οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Πολιτικής Προστασίας των Περιφερειών και άλλες περιβαλλοντικές αρχές είναι αυτές που ασχολούνται με τα συγκεκριμένα σχέδια. Στη συνέχεια εγκρίνονται από τον Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας, το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων και την Εθνική Γραμματεία Υδάτων.

Αυτά περιλαμβάνουν μέτρα που εστιάζουν στη μείωση των αρνητικών συνεπειών των πλημμυρών στους τομείς της ανθρώπινης υγείας, του περιβάλλοντος, της πολιτιστικής κληρονομιάς και της οικονομίας.

Τα σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας λαμβάνουν υπόψη το κόστος, τα οφέλη, την έκταση πλημμύρας, τις περιοχές αποστράγγισης, τη διαχείριση του εδάφους και των υδάτων, τις χρήσεις γης και τη διαφύλαξη της φύσης και της ναυσιπλοΐας. Ακόμη τα σχέδια καλύπτουν και όλες τις πτυχές διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας εστιάζοντας στην πρόληψη (πρόβλεψη πλημμυρών), την προστασία και την ετοιμότητα (συστήματα έγκαιρης



προειδοποίησης), περιλαμβάνοντας και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών χρήσης γης, βελτίωσης συγκράτησης υδάτων και ελεγχόμενης κατάκλισης ορισμένων περιοχών.

Τα μέτρα που θεσπίζει ένα κράτος μέλος, υπό το πρίσμα της αρχής της αλληλεγγύης, δεν θα πρέπει να αυξάνουν σημαντικά τους κινδύνους πλημμύρας σε άλλες χώρες στην ίδια λεκάνη απορροής ποταμού.

### 2.1.3 Προεδρικό Διάταγμα 696/74

Το Π.Δ. 696/74 έχει ως θέμα τις αμοιβές μηχανικών για σύνταξη μελετών περί συγκοινωνιακών και υδραυλικών έργων και εργασιών, ενώ παράλληλα αναλύονται οι περιορισμοί κατασκευής για αγωγούς αποχέτευσης όμβριων και ακαθάρτων, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

Αποχέτευση Όμβριων:

i) Για την αποφυγή κινδύνου έμφραξης, η διάμετρος του αγωγού πρέπει να είναι άνω των 400 mm.

ii) Ο μέγιστος λόγος πλήρωσης για υφιστάμενους και καινούργιους αγωγούς αναγράφεται στον παρακάτω Πίνακα 2.1 .

**Πίνακας 2.1 : Ο μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης αγωγών όμβριων σύμφωνα με το Π.Δ. 696/74 (Π.Δ. 696/74)**

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ
ΝΕΟΣ	0.70
ΠΑΛΑΙΟΣ	0.80

iii) Η ταχύτητα ροής μέσα στους αγωγούς πρέπει να είναι μικρότερη των 6.0m/s, για την αποφυγή κινδύνου εμφάνισης ασταθειών στην ροή.

iv) Η ελάχιστη κλίση των αγωγών που ορίζει το Π.Δ. 696/74 πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ελάχιστης επιτρεπόμενης του Πίνακα 2.2 .

**Πίνακας 2.2 : Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών όμβριων από σκυρόδεμα σύμφωνα με το Π.Δ. 696/74 (Π.Δ. 696/74)**

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (mm)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΚΛΙΣΗ ΑΓΩΓΟΥ
400	0.0060
500	0.0044
600	0.0035
700	0.0028
800	0.0024
900	0.0020

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (mm)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΚΛΙΣΗ ΑΓΩΓΟΥ
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

#### Αποχέτευση Ακαθάρτων:

- Ο μέγιστος λόγος πλήρωσης για νέους κυκλικούς αγωγούς ορίζεται στο 0.5-0.7 ανάλογα με το μέγεθος της διατομής, και για υφιστάμενους αγωγούς στο 0.8
- Η ελάχιστη διάμετρος κυκλικών αγωγών ορίζεται στα 20cm και ως ελάχιστη ωσειδής διατομή ορίζεται η 60/90cm
- Η μέγιστη ταχύτητα ροής για αγωγούς ακαθάρτων ορίζεται στα 3m/s και η ελάχιστη ταχύτητα πλήρους πλήρωσης στα 0.56 m/s
- Η ελάχιστη κλίση ορίζεται έτσι ώστε  $Q/Q_0=0.1$ , η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει τα 0.3 m/s, η οποία αντιστοιχεί σε ταχύτητα πλήρους πλήρωσης 0.56 m/s

#### 2.2 Παντοροϊκά και χωριστικά δίκτυα αποχέτευσης

Τα αποχετευτικά δίκτυα διαχωρίζονται με βάση τον τρόπο σχεδιασμού και κατασκευής τους, σε παντοροϊκά και χωριστικά (Ιωσηφίδης, 2010). Ως χωριστικά συστήματα αποχέτευσης ορίζονται τα δίκτυα που διαθέτουν ξεχωριστούς αγωγούς για την αποχέτευση όμβριων και ακαθάρτων υδάτων (ΕΥΔΑΠ, 2009). Τα παντοροϊκά δίκτυα, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιοχές των οποίων τα αποχετευτικά συστήματα κατασκευάστηκαν παλαιότερα, έχουν σχεδιαστεί με στόχο την αποχέτευση των όμβριων και ακαθάρτων υδάτων με κοινούς αγωγούς (Ιωσηφίδης, 2010).

##### 2.2.1 Παροχή Αποχέτευσης Ακαθάρτων

Ως δίκτυο αποχέτευσης ακαθάρτων μιας περιοχής ορίζεται σύμφωνα με τον Τσακίρη (2010) ως το «δίκτυο συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης στον τελικό αποδέκτη των υγρών αποβλήτων από οικίες και βιοτεχνικές μονάδες μιας οικιστικής περιοχής».

Το δίκτυο αποχέτευσης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα αποχέτευσης της μέγιστης στιγμιαίας παροχής ακαθάρτων κατά τη διάρκεια ολόκληρης της μέρας. Αρχικά, γίνεται ο υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης του οικισμού ( $Qd^{max}$ ), χρησιμοποιώντας την μέση ανηγμένη ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο ( $q$ ), περίπου 200 με 300 λίτρα και τους πολλαπλασιαστικούς συντελεστές  $F1$  και  $F2$ .

$$Qd^{max}=F1*Pv*q \quad (2.1)$$

όπου  $P_v$  είναι ο πληθυσμός της περιοχής μελέτης.

Η μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων ( $QA_d^{max}$ ), υπολογίζεται ως ποσοστό της μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης του οικισμού, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή «μ» (Τσακίρης, 2010).

$$QA_d^{max}=\mu*Qd^{max} \quad (2.2)$$

Τέλος, η μέγιστη ωριαία παροχή ακαθάρτων ( $QA_h^{max}$ ) προκύπτει με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων πολλαπλασιασμένη με έναν αυξητικό συντελεστή  $P$ , που εξαρτάται από τη μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων (Τσακίρης, 2010).

$$P=1.5+\frac{2.5}{\sqrt{QA_d^{max}}} \quad (2.3)$$

$$QA_h^{max}=P*QA_d^{max} \quad (2.4)$$

Για την εκτίμηση της παροχής ακαθάρτων στην περιοχή μελέτης, χρειάστηκε να προσδιοριστεί ο πληθυσμός σε κάθε υπολεκάνη απορροής. Πριν γίνει αυτό, όμως, ήταν αναγκαίο να βρεθούν τα όρια του κάθε Δήμου της Ζώνης Β του Παντορροϊκού Δικτύου Αθηνών, όπως αυτά απεικονίστηκαν στην Εικόνα 2.1. Το μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής μελέτης ανήκει στον Δήμο Αθηναίων (81%), ενώ το υπόλοιπο μέρος ανήκει στον Δήμο Γαλατσίου (19%). Αξιοποιώντας τα πληθυσμιακά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2021), η πυκνότητα του πληθυσμού για τον Δήμο Αθηναίων υπολογίστηκε ίση με 16,516 κάτοικοι/km<sup>2</sup> και για τον Δήμο Γαλατσίου 14,384 κάτοικοι/km<sup>2</sup>. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα και έχοντας ήδη υπολογίσει την έκταση της κάθε υπολεκάνης, υπολογίστηκε η παροχή ακαθάρτων.



**Εικόνα 2.1 Όρια Δήμων της Περιοχής Μελέτης**

## 2.3 Όμβριες Καμπύλες στον Ελλαδικό Χώρο

Οι όμβριες καμπύλες αποτελούν αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχής  $i$  συναρτήσει της διάρκειας  $t$  και της περιόδου επαναφοράς  $T$  και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση των ισχυρών βροχοπτώσεων μιας περιοχής (Κουτσογιάννης, 1997).

Η κατάρτιση των Όμβριων Καμπύλων βασίζεται στην πιθανοτική ανάλυση παρατηρημένων ακραίων υψών ( $h$ ) ή (χρονικά μέσων) εντάσεων ( $i$ ) βροχής (Κουτσογιάννης et al., 2010).

Για τις όμβριες καμπύλες απαιτούνται ιστορικές σειρές μέγιστων εντάσεων βροχής για ένα σύνολο  $k$  διαρκειών  $t$ , ξεκινώντας από μια ελάχιστη διάρκεια που επιτρέπει η ευκρίνεια των παρατηρήσεων μέχρι και την μέγιστη διάρκεια βροχής που μπορεί να ενδιαφέρει έναν μηχανικό (Κουτσογιάννης, 1997).

Σαν δεδομένα αξιολογούνται και καταγράφονται μετρήσεις εντάσεων βροχής από βροχογράφους και βροχόμετρα για χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται από 5 έως και 60 λεπτών, μέχρι μία μέγιστη κλίμακα 24 έως και 48 ωρών (Κουτσογιάννης et al., 2010).

### 2.3.1 Όμβριες Καμπύλες-Μαθηματική έκφραση

Οι όμβριες καμπύλες μπορούν να εκφραστούν με την εξής γενική συναρτησιακή σχέση της μορφής (Κουτσογιάννης, 1997):

$$i = \frac{\alpha(T)}{b(t)} \quad (2.5)$$

όπου το  $i$  συμβολίζει την μέγιστη ένταση βροχής για χρονική κλίμακα  $t$  περιόδου επαναφοράς  $T$ .

Η  $b(t)$ , που είναι συνάρτηση της διάρκειας, παίρνει μια από τις ακόλουθες μορφές (Κουτσογιάννης, 1997) :

$$b(t) = (t + \vartheta)^n \quad (2.6)$$

$$b(t) = t^n \quad (2.7)$$

$$b(t) = t + \vartheta \quad (2.8)$$

Η  $\alpha(T)$ , ως συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς, κατά μία εμπειρική θεώρηση μπορεί να εκφραστεί με τις ακόλουθες μορφές (Κουτσογιάννης, 1997):

$$\alpha(T) = \lambda * T^k \quad (2.9)$$

$$\alpha(T) = \frac{1}{\lambda} * (\psi + \ln T) \quad (2.10)$$

Η αποδοχή της Γενικευμένης Κατανομής Ακραίων Τιμών σε συνδυασμό με τη γενική αναλυτική έκφραση των όμβριων καμπυλών οδηγεί στην ακόλουθη γενικευμένη έκφραση:

$$i(t,T)=\lambda \frac{\left(1-\frac{t}{T}\right)^{-\kappa} \pm \psi}{\left(1+\frac{t}{\vartheta}\right)^{\eta}} \quad (2.11)$$

Αν η περίοδος επαναφοράς μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από 1 έτος, τότε η αντίστοιχη εξίσωση προκύπτει θεωρητικά ότι έχει την ακόλουθη απλούστερη έκφραση (Κουτσογιάννης, 1997):

$$i(t,T)=\lambda \frac{T^{\kappa}-\psi}{\left(1+\frac{t}{\vartheta}\right)^{\eta}} \quad (2.12)$$

### 2.3.2 Υετογράφημα καταιγίδας

Το υετογράφημα είναι η χρονική κατανομή του ύψους βροχής που πέφτει σε μια λεκάνη απορροής (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015). Για την κατανομή του συνολικού ύψους βροχής στο χρόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι:

Στη μέθοδο του Τριγωνικού Υετογραφήματος, η κατανομή της βροχής είναι τριγωνική, με αιχμή στο χρόνο  $t_r=r(t)$ , όπου  $t$  η διάρκεια βροχής και  $r$  αριθμητικός συντελεστής με τιμές από το 0 μέχρι και το 1 (Κουτσογιάννης, 2011). Για  $r = 0.5$  προκύπτει η συμμετρική τριγωνική κατανομή. Η αιχμή  $i_r$  της έντασης βροχής δίνεται από την προφανή σχέση  $i_r = 2H/t$ , όπου το  $H$  είναι το συνολικό ύψος βροχής (Κουτσογιάννης, 2011).

Η μέθοδος της Αδιάστατης Χρονικής Κατανομής βασίζεται στον επιμερισμό του ύψους βροχής στο χρόνο, σύμφωνα με μια προκαθορισμένη αδιάστατη κατανομή της μορφής  $(H/H_{τελ}) =$  συνάρτηση  $(t/t)$ , όπου  $t$  η ολική διάρκεια της καταιγίδας,  $H$  το ύψος βροχής στο χρόνο  $t$  και  $H_{τελ}$  το τελικό (συνολικό) ύψος της καταιγίδας. Η μορφή της παραπάνω συνάρτησης θεωρείται ανεξάρτητη της διάρκειας  $t$  και του ύψους  $H_{τελ}$  και συνήθως προσδιορίζεται βάσει διαγραμμάτων της βιβλιογραφίας. Παρόμοιες καμπύλες δίνονται και από την μέθοδο SCS (Κουτσογιάννης, 2011).

Στη μέθοδο Εναλλασσόμενων Μπλοκ, αφού επιλεγεί η διάρκεια βροχής και το χρονικό βήμα υπολογισμού, για κάθε χρονικό βήμα μέσω της όμβριας καμπύλης της υπολεκάνης, υπολογίζεται το τμηματικό σημειακό ύψος βροχής. Τα τμηματικά ύψη βροχής που προκύπτουν από την όμβρια καμπύλη τοποθετούνται έτσι ώστε η μεγαλύτερη τμηματική βροχόπτωση να βρίσκεται στο μέσον του υετογραφήματος και οι υπόλοιπες τιμές, κατά φθίνουσα σειρά, εναλλάξ δεξιά και αριστερά της μέγιστης τιμής μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επιμέρους διάρκειες (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016, Chow et al., 1988).

Τέλος, για τη μέθοδο του Δυσμενέστερου Συνδυασμού, τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται κατά τρόπο, ώστε το μέγιστο ύψος βροχής να βρίσκεται σε χρονική αντιστοιχία με την μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος της λεκάνης, αντίστοιχα για το δεύτερο μεγαλύτερο ύψος βροχής και την δεύτερη μεγαλύτερη τεταγμένη του μοναδιαίου, μέχρι και το μικρότερο ύψος βροχής. Στην συνέχεια, η διάταξη που δημιουργήθηκε,

αντιστρέφεται και έτσι προκύπτει το τελικό υετόγραμμα. Η υλοποίηση της μεθόδου είναι απαιτητική σε δεδομένα εισόδου καθώς απαιτεί το μοναδιαίο υδρογράφημα κάθε υπολεκάνης για να υλοποιηθεί (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016).

#### 2.4 Αειφόρες Πρακτικές Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί σε ολόκληρο τον κόσμο μια τάση προς αστικοποίηση (United Nations, 2019), με αποτέλεσμα την αύξηση των κατασκευών για την εξυπηρέτηση της μετατόπισης του πληθυσμού από τις αγροτικές στις αστικές περιοχές (Zhou et al., 2020). Η αυξημένη αστικοποίηση, η μείωση των περατών επιφανειών και η κλιματική αλλαγή απειλούν το μέλλον των πόλεων (Twohig et al., 2022).

Όταν η βροχή πέφτει σε μια περατή επιφάνεια, ένα μέρος της διεισδύει στο έδαφος ή απορροφάται από τα φυτά και το υπόλοιπο βρίσκει το δρόμο του σε κάποιο υδατικό σώμα (CIRIA, 2015). Αυτά τα στάδια του κύκλου του νερού μπορούν να παρεμποδιστούν όταν η φυσική γη τροποποιείται από ανθρώπινες διεργασίες (CIRIA, 2015).

Στις αστικές περιοχές, τείνει να υπάρχει λιγότερο περατό έδαφος για να πραγματοποιηθεί η διήθηση και λιγότερη βλάστηση για εξατμισοδιαπνοή. Όταν η βροχή πέφτει σε αδιαπέρατες επιφάνειες, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή, η οποία μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες, ρύπανση και προβλήματα διάβρωσης (CIRIA, 2015).

Η μετατροπή φυσικών περιοχών σε οικιστικές, εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις γης, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για περιβαλλοντικές και υδρολογικές αλλαγές (Shuster et al., 2007). Σήμερα, παραπάνω από το 55% του πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές, με το ποσοστό να αναμένεται να φτάσει στο 68% μέχρι το 2050 (United Nations, 2019).

Παρά τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη, η αστικοποίηση οδηγεί σε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως οι αστικές πλημμύρες (Hollis, 1975, Ahiablame et al., 2016, Zhou et al., 2019) και το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπου οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τις γύρω αγροτικές περιοχές (Zhang et al., 2009, Tam et al., 2015). Η αστικοποίηση συνήθως συνοδεύεται από την επέκταση των αδιαπέρατων επιφανειών (Ercolani et al., 2018).

Οι αδιαπέρατες επιφάνειες, όπως στέγες, οι χώροι στάθμευσης και οι δρόμοι, που όλο και πολλαπλασιάζονται σε μια αστικοποιημένη περιοχή, αυξάνουν την απορροή και την πιθανότητα πλημμύρας (Getter et al., 2007, Ercolani et al., 2018).

Αυτό συμβαίνει διότι η φυσική επιφανειακή κάλυψη των δέντρων, του γρασιδιού και των φυτών όπου τα όμβρια ύδατα μπορούν να διεισδύσουν, έχουν αντικατασταθεί στις ανεπτυγμένες περιοχές με κατοικίες, εμπορικά κέντρα και επιχειρηματικές περιοχές (Vogel et al., 2017). Σύμφωνα με τους Ahiablame et al. (2016), η αύξηση της αστικής χρήσης γης από το 50% στο 94% μεταξύ 1992 και 2030 θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ετήσιας μέσης απορροής και των πλημμυρών κατά 30%.

Για την καταπολέμηση των παραπάνω προβλημάτων, τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί η χρήση αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Suresh et al., 2023,

Twohig et al., 2022, Cristiano et al., 2020, Ercolani et al., 2018, Wang et al., 2022). Οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου έχουν κερδίσει ευρεία αποδοχή ως μια πιο βιώσιμη και αποτελεσματική τεχνική για τον μετριασμό των αστικών πλημμυρών (Twohig et al., 2022, Suresh et al., 2023).

Ο όρος αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, αναφέρεται σε συστήματα ή πρακτικές που χρησιμοποιούν ή μιμούνται φυσικές διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την εξατμισοδιαπνοή και την προστασία της ποιότητας του νερού και του σχετικού υδάτινου οικοσυστήματος. Υπάρχουν πολλές τέτοιες πρακτικές, όπως πράσινες στέγες, περατά πεζοδρόμια/επιφάνειες, κήποι βροχής (United States Environmental Protection Agency, 2023). Η διαχείριση του όγκου και της αιχμής απορροής καταιγίδων αλλά και η βελτίωση της ποιότητας του βρόχινου νερού είναι μερικά από τα θετικά των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Bedan et al., 2009).

Εκτός αυτών, οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου προσφέρουν πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, όπως η βελτιωμένη ποιότητα νερού, η μείωση του αριθμού πλημμυρών, η αποκατάσταση του υδατικού οικοσυστήματος, η καλύτερη λειτουργία των αποχετευτικών συστημάτων και τέλος η βελτίωση της εικόνας της πόλης (United States Environmental Protection Agency, 2023).

Οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου σύμφωνα με την CIRIA (2015) μπορούν να χρησιμοποιηθούν παντού, σε καινούριες και παλιές εγκαταστάσεις, ακόμη και σε πολύ μικρούς χώρους. Η καλή σχεδίαση αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου αξιοποιεί πλήρως τον ελεύθερο χώρο, συνδυάζοντας την καλή λειτουργία των αποχετευτικών συστημάτων με άλλες λειτουργίες της γύρω περιοχής (CIRIA, 2015).

Για παράδειγμα, τα περατά πεζοδρόμια μπορούν να αξιοποιηθούν σε χώρους στάθμευσης ή δρόμους ήπιας κυκλοφορίας και οι πράσινες στέγες είναι ικανές να μειώσουν την απορροή και την θερμοκρασία των κτηρίων (CIRIA, 2015).

Η κατασκευή των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου θα πρέπει, όσο είναι δυνατόν, να βασίζεται στις ακόλουθες αρχές:

- Αξιοποίηση της επιφανειακής απορροής.
- Μείωση και καλύτερη αξιοποίηση της απορροής με σκοπό την μίμηση των χαρακτηριστικών της φυσικής επιφάνειας της γης.
- Μείωση της μόλυνσης και της ρύπανσης που προκαλείται από την επιφανειακή απορροή και επεξεργασία της απορροής για την μείωση των κινδύνων αστικών ρύπων.

#### 2.4.1 Πράσινες Στέγες

Οι πράσινες στέγες στην ταράτσα ενός κτηρίου είναι μια αρχαία τεχνική που χρησιμοποιήθηκε από τους παλιούς χρόνους για τις μονωτικές ιδιότητές τους, με μία από τις

πιο διάσημες εφαρμογές τους να είναι οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας το 500 π.Χ. (Shafique et al., 2018).

Τα σπίτια με πράσινες στέγες ήταν ένα πάρα πολύ συχνό φαινόμενο και πριν από μερικές εκατοντάδες χρόνια, ειδικά στις περιοχές όπου το κλίμα είναι υγρό, π.χ. Ισλανδία, Σουηδία, Φινλανδία. Η βλάστηση που χρησιμοποιούταν ήταν συνήθως γρασίδι και ο στόχος ήταν κυρίως η μόνωση των κατοικιών (Bengtsson et al., 2005). Τις τελευταίες δεκαετίες, οι πράσινες στέγες έχουν προταθεί μεταξύ άλλων ως ένα βιώσιμο εργαλείο για τον μετριασμό του κινδύνου αστικής πλημμύρας και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (Cristiano et al., 2020). Στην Εικόνα 2.2 απεικονίζεται μια κλασσική πράσινη στέγη.



**Εικόνα 2.2: Πράσινη Στέγη (Πηγή: United States Environmental Protection Agency, 2023)**

Οι πράσινες στέγες είναι στέγες που αποτελούνται από: μια στεγανωτική μεμβράνη, ένα μέσο ανάπτυξης (χώμα) και φυτά (United States General Services Administration, 2011). Ουσιαστικά, είναι στέγες στις οποίες φυτεύονται διάφορα είδη βλάστησης/φυτών στο υπόστρωμα, με σκοπό την ανάπτυξη βλάστησης στην κορυφή του κτηρίου και την αποκόμιση πολλαπλών κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών (Shafique et al., 2018).

Υπάρχουν δύο τύποι πράσινων στεγών, οι εντατικές οι οποίες έχουν βάθος υποστρώματος μεγαλύτερο των 15 εκατοστών, όπου φυτεύονται βαθιά ριζωμένα φυτά και οι εκτεταμένες, οι οποίες αποτελούνται από λεπτό στρώμα υποστρώματος μικρότερο των 15 εκατοστών και καλύπτονται με πώδη φυτική κάλυψη (CIRIA, 2015).

Οι πράσινες στέγες μπορούν να διατηρήσουν μέρος της βροχοπτώσης στη βλάστηση, στο υπόστρωμα και στα υπόλοιπα στρώματα, παρέχοντας έτσι την ικανότητα συγκράτησης της απορροής και διαχείρισης των όμβριων υδάτων (Bengtsson et al., 2005, Metens et al., 2006, Μπούκας, 2019, Soulis et al., 2017, Zhang et al., 2021).



Η τυπική διάρκεια ζωής τους, περίπου 25 χρόνια (Kosareo et al., 2007), μπορεί να παραταθεί με την προστασία τους από μηχανικές βλάβες και την υπεριώδη ακτινοβολία. Όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης μιας νέας πράσινης στέγης ανέρχεται περίπου στα 200 ευρώ/m<sup>2</sup> (Kourtis et al., 2020).

Ακόμη, οι πράσινες στέγες, μειώνουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας αυξάνοντας την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που αντανακλάται, ψύχοντας το κτήριο μέσω των φυσικών διεργασιών των φυτών (United States General Services Administration, 2011) και μπορούν να μειώσουν τον εξωτερικό θόρυβο λειτουργώντας ως ηχομόνωση για το κτήριο (Renterghem et al., 2014). Οι πράσινες στέγες παρέχουν έναν ελκυστικό χώρο πρασίνου στο κέντρο της πόλης όπου το πράσινο είναι περιορισμένο ή απλώς ανύπαρκτο (Berndtsson, 2010).

Οι πράσινες στέγες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια μεγάλη ποικιλία στεγών διαφορετικών τύπων και μεγεθών (CIRIA, 2015). Μπορούν να εγκατασταθούν και σε οροφές με διαφορετικές κλίσεις, όμως μεγάλες κλίσεις σημαίνει και μικρότεροι αποθηκευτικοί χώροι και μικρότερη ικανότητα μείωσης της απορροής (CIRIA, 2015).

Μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης όμβριων υδάτων προκαλούν μεγαλύτερα φορτία στο κτήριο άρα πρέπει να συμπεριληφθούν και αυτά στον σχεδιασμό. Στην επιλογή της βλάστησης θα πρέπει να μελετηθούν περιβαλλοντικοί παράμετροι της τοποθεσίας της πράσινης στέγης, όπως το ύψος της στέγης, το πόσο εκτεθειμένη είναι στον αέρα, ο προσανατολισμός της στέγης ως προς τον ήλιο και η σκίαση που δέχεται από τα διπλανά κτήρια. Ακόμη, το κλίμα της περιοχής αλλά και το ειδικό μικροκλίμα της οροφής παίζει σημαντικό ρόλο (CIRIA, 2015).

Ο υδρολογικός σχεδιασμός της πράσινης στέγης γίνεται με βάση:

- Τον τρόπο με τον οποίο θα συμπεριφερθεί η στέγη κατά την διάρκεια ενός ακραίου γεγονότος βροχόπτωσης.
- Τον τρόπο με τον οποίο θα συμπεριφερθεί η στέγη κατά την διάρκεια ολόκληρου του χρόνου, εστιάζοντας στην μείωση του όγκου της απορροής για τις περισσότερες βροχοπτώσεις.

Η απόδοση της πράσινης στέγης όσον αφορά την μείωση ή την πρόληψη της απορροής για φυσιολογικές βροχοπτώσεις είναι συνήθως πολύ καλή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού λόγω της αυξημένης εξατμισοδιαπνοής και των προσωρινών αποθηκευτικών χώρων της στέγης (CIRIA, 2015).

Όλες οι πράσινες στέγες μπορούν να αποδώσουν αρκετά καλά το καλοκαίρι, δεδομένου ότι έχουν ικανότητα αποθήκευσης έως και 5mm βροχής. Όμως, οι στέγες είναι πιθανόν να αντιμετωπίσουν πρόβλημα κατά τη διάρκεια κρύων και υγρών περιόδων του χειμώνα, όπου το έδαφος είναι κορεσμένο για μεγάλη διάρκεια και δεν είναι δυνατή η διείσδυση της βροχής (CIRIA, 2015).

Αν και η έρευνα της αποτελεσματικότητας και η κατασκευή των μοντέρνων πράσινων στεγών έχει αρχίσει στην Γερμανία από το 1960, όταν ξεκίνησε η ενεργειακή κρίση (Shafique et al., 2018), η μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων λόγω της μεταβλητότητας της τοποθεσίας,

του κλίματος (Yang et al., 2003, Kuorramaki, 2021), του σχεδιασμού και της κατασκευής των πράσινων στεγών (Zhang et al., 2021, Soulis et al., 2017, Getter et al., 2007) έχει ως αποτέλεσμα την αποθάρρυνση εφαρμογής νέων πράσινων στεγών αλλά και την ανάγκη καλύτερης κατανόησης της σχέσης απόδοσης και παραμέτρων σχεδιασμού για την βέλτιστη απόδοση τους (Zheng et al., 2021).

#### 2.4.2 Περατές Επιφάνειες

Οι πόλεις μας καλύπτονται όλο και περισσότερο με κτήρια και αδιαπέρατους δρόμους (Yang et al., 2003). Λόγω της έλλειψης υδατοπερατότητας και αεροδιαπερατότητας του κοινού οδοστρώματος, το νερό της βροχής δεν μπορεί να διεισδύσει στο έδαφος (Yang et al., 2003). Περιβαλλοντικά προβλήματα όπως οι πλημμύρες, η ρύπανση των υδάτων, η κλιματική αλλαγή και τα φαινόμενα αστικής θερμικής νησίδας εμφανίζονται συχνά, παγκοσμίως (Yang et al., 2003).

Σήμερα, τα πεζοδρόμια αποτελούν περίπου το 25% των αδιαπέρατων επιφανειών, με αποτέλεσμα να συμβάλλουν αρνητικά στο πρόβλημα της αστικής απορροής (Pilon et al., 2019). Για την αντιμετώπιση των αρνητικών υδρολογικών επιπτώσεων της απορροής, εγκαθίστανται κατασκευές με περατά οδοστρώματα, όπως λιθόστρωτα με ανοιχτούς αρμούς, περατή άσφαλτο και περατό σκυρόδεμα, όπου το νερό και ο αέρας επιτρέπεται να περάσει από μέσα τους (Pilon et al., 2019).

Τα περατά πεζοδρόμια είναι πεζοδρόμια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πεζούς και/ή οχήματα, ενώ παράλληλα επιτρέπουν το βρόχινο νερό να διεισδύσει μέσα από την επιφάνεια τους και να εισχωρήσει στα κατώτερα στρώματα (CIRIA, 2015).

Το νερό αποθηκεύεται προσωρινά στα κατώτερα στρώματα έως ότου τελικά εισχωρήσει στο έδαφος ή διοχετευτεί στο αποχετευτικό σύστημα (CIRIA, 2015). Το περατό πεζοδρόμιο αποτελεί την πλέον αποτελεσματική χρήση γης, εφόσον μπορεί να λειτουργήσει ταυτόχρονα σαν πεζοδρόμιο και σαν αποθηκευτικός χώρος της απορροής (Tennis, 2004).

Σύμφωνα με το Upper Midwest Water Science Center (2019), το περατό πεζοδρόμιο είναι μια πορώδης αστική επιφάνεια που αποτελείται από επιστρώσεις ανοιχτών πόρων, σκυρόδεμα ή άσφαλτο και μια πέτρινη δεξαμενή. Το περατό πεζοδρόμιο συγκρατεί τη βροχόπτωση και την επιφανειακή απορροή στη δεξαμενή, ενώ σιγά-σιγά τους επιτρέπει να διεισδύσουν στο έδαφος ή να εκκενωθούν μέσω ενός πλακιδίου αποστράγγισης.

Οι πιο συνηθισμένες χρήσεις του περατού οδοστρώματος είναι οι χώροι στάθμευσης, οι δρόμοι χαμηλής κυκλοφορίας, τα πεζοδρόμια και οι δευτερεύοντες δρόμοι. Στην Εικόνα 2.3 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που έχει αντικατασταθεί με περατό πεζοδρόμιο.



**Εικόνα 2.3: Περατό Πεζοδρόμιο (Πηγή: United States Environmental Protection Agency, 2023)**

Η έρευνα για τα περατά υλικά οδοστρώματος έχει ξεκινήσει σε ανεπτυγμένες χώρες, όπως οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία, από τη δεκαετία του 1980, ωστόσο η αντοχή των υλικών είναι σχετικά χαμηλή λόγω της πορώδους φύσης τους (Yang et al., 2003). Τα περατά πεζοδρόμια πρέπει να σχεδιάζονται για να μπορούν να υποστηρίξουν τον επιδιωκόμενο κυκλοφοριακό φόρτο σε δευτερεύοντες οδούς, αλλά και να συμβάλλουν θετικά στην στρατηγική διαχείριση των όμβριων υδάτων (Obla, 2010). Το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης ανέρχεται στα 160 ευρώ / m<sup>2</sup> (Kourtis et al., 2020).

Υπάρχουν δύο είδη περατών πεζοδρομίων τα οποία ορίζονται με βάση τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην επιφάνεια τους:

- Τα πορώδη πεζοδρόμια, που επιτρέπουν το νερό να εισχωρήσει σε ολόκληρη την επιφάνεια τους, όπως πορώδες τσιμέντο και πορώδης άσφαλτος.
- Τα περατά πεζοδρόμια, που έχουν μια επιφάνεια αποτελούμενη από υλικά τα οποία από μόνα τους είναι αδιαπέρατα για το νερό. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν έναν κενό χώρο μεταξύ της επιφάνειας και του υποστρώματος (CIRIA, 2015).

Οι περατές επιφάνειες είναι ικανές να μειώσουν τον όγκο των όμβριων υδάτων εντός αστικών λεκανών απορροής ακόμα και σε ποσοστό 90% (Dreelin et al., 2006, Brattebo et al.,

2003, Chen et al., 2021). Τα περατά οδοστρώματα μπορούν επίσης να λειτουργήσουν σαν φίλτρο των ρύπων που μολύνουν τα υδατικά σώματα (Pilon et al., 2019, Ong et al., 2016), να ελαχιστοποιήσουν την ανάγκη για χρήση αλατιού στους δρόμους τους χειμερινούς μήνες και να μειώσουν το κόστος κατασκευής συμβατικών αποχετεύσεων (United States Environmental Protection Agency, 2023).

Ακόμη, τα περατά οδοστρώματα, μειώνοντας την απορροή σε πλακόστρωτες περιοχές, επιτρέπουν την χρήση όμβριων υπονόμων μικρότερης χωρητικότητας και την αξιοποίηση μεγαλύτερου μέρους του κάθε ακινήτου με χαμηλότερο κόστος (Obla, 2010). Εκτός αυτού, μπορούν να απορροφήσουν τον θόρυβο των οχημάτων (Rodrigues et al., 2022, Zhang et al., 2020) και δεν «λάμπουν» την νύχτα, βελτιώνοντας την άνεση και την ασφάλεια των οδηγών (Yang et al., 2003).

Όσον αφορά τον υδρολογικό σχεδιασμό των περατών πεζοδρομίων, θα πρέπει να παρθούν υπόψιν τα παρακάτω (CIRIA, 2015):

**Διήθηση των όμβριων υδάτων μέσω της περατής επιφάνειας:** Ο ρυθμός επιφανειακής διήθησης θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερος από την ένταση των βροχοπτώσεων σχεδιασμού για να αποφύγουμε λιμνάζοντα νερά, ενώ κατά τον υπολογισμό του ρυθμού εισροής θα πρέπει να συμπεριληφθεί και όλη η απορροή που αναμένεται από τις γύρω περιοχές. Μια ελάχιστη τιμή ρυθμού διήθησης 2,500 mm/h (για νέα πεζοδρόμια) είναι μια λογική τιμή ώστε τα περατά πεζοδρόμια να καταλογιστούν όντως ως “περατά”.

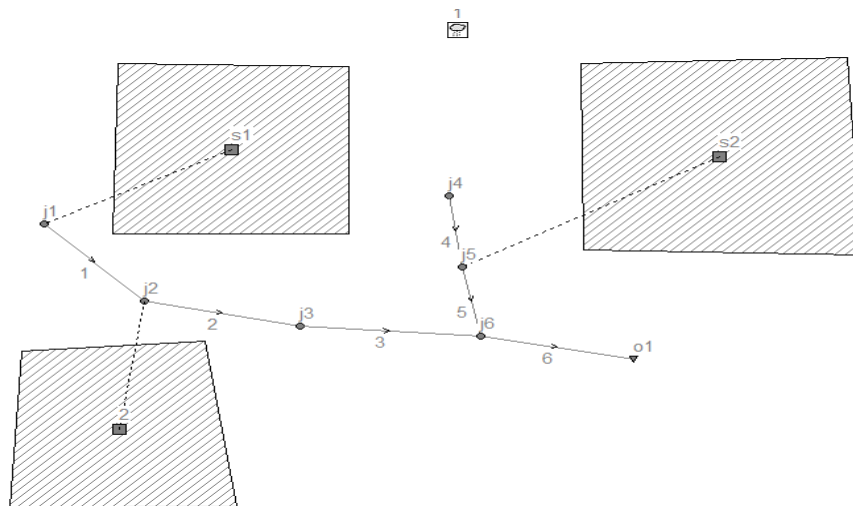
**Αποθηκευτικές ικανότητες των στρωμάτων υπό του εδάφους:** Ο αποθηκευτικός χώρος που είναι αναγκαίος για τα περατά πεζοδρόμια επηρεάζεται άμεσα από τα χαρακτηριστικά της βροχής: Περίοδος επαναφοράς, ένταση, ικανότητες διήθησης του εδάφους και η επιφάνεια της αδιαπέρατης περιοχής από την οποία ρέει η απορροή στο περατό πεζοδρόμιο.

## 2.5 Εισαγωγή στο SWMM

Το λογισμικό Storm Water Management Model (SWMM) του Αμερικανικού Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος, είναι ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης βροχόπτωσης-απορροής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεμονωμένα γεγονότα βροχής αλλά και για συνεχή προσομοίωση ποσότητας και ποιότητας απορροής από κυρίως αστικές περιοχές (Rossman, 2015). Το συγκεκριμένο μοντέλο διαχείρισης όμβριων υδάτων χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο για σχεδιασμό και ανάλυση συστημάτων που σχετίζονται με την απορροή όμβριων υδάτων, τους υπονόμους και άλλα συστήματα αποχέτευσης (United States Environmental Protection Agency, 2023). Ακόμη, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση στρατηγικών υποδομής αναφορικά με τα όμβρια ύδατα και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τη δημιουργία οικονομικά αποδοτικών λύσεων (United States Environmental Protection Agency, 2023).

Η λειτουργία του SWMM στηρίζεται στη διαίρεση της λεκάνης απορροής σε μικρότερες υπο-λεκάνες που δέχονται βροχόπτωση και παράγουν επιφανειακή απορροή, η οποία μεταφέρεται μέσω συστημάτων αγωγών, αντλιών και συσκευών

αποθήκευσης/επεξεργασίας (Rossman, 2015). Το SWMM παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για την επεξεργασία δεδομένων εισόδου της περιοχής μελέτης, την εκτέλεση υδρολογικών, υδραυλικών προσομοιώσεων και την προβολή των αποτελεσμάτων σε διάφορες μορφές, που περιλαμβάνουν χρωματικά κωδικοποιημένους χάρτες αποχετευτικών χώρων, γραφήματα, πίνακες χρονοσειρών και στατιστικές αναλύσεις συχνότητας (United States Environmental Protection Agency, 2023). Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό περιβάλλον στο λογισμικό SWMM, και περιλαμβάνει 3 υπολεκάνες, 6 αγωγούς, 6 φρεάτια, 1 βροχογράφο και έναν κόμβο εκβολής.



**Εικόνα 2.4: Περιβάλλον Λογισμικού SWMM**

Μερικά από τα αντικείμενα που μπορούν να προσομοιωθούν με τη χρήση του λογισμικού SWMM, σύμφωνα με τον Rossman (2015) παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3: Αντικείμενα στο SWMM (Rossman, 2015)**

Αντικείμενο	Περιγραφή
<b>Βροχόμετρο</b>	Είναι μια πηγή δεδομένων βροχόπτωσης ή κατακρημνισμάτων από μία ή και περισσότερες υπολεκάνες.
<b>Υπολεκάνη</b>	Ένα τμήμα γης που δέχεται βροχόπτωση μετρημένη με βροχογράφο και παράγει απορροή που ρέει σε αποχετευτικό σύστημα ή σε κατάντη υπολεκάνη.
<b>Υδροφορέας</b>	Υπόγεια περιοχή εδάφους που δέχεται νερό μέσω διήθησης από την υπολεκάνη από πάνω της.

<b>Χιονόστρωμα</b>	Συσσωρευμένο χιόνι που καλύπτει την υπολεκάνη.
<b>Μοναδιαίο Υδρογράφημα</b>	Ένα διάγραμμα κατανομής της άμεσης απορροής, που προκαλείται από απορροϊκή βροχή ύψους ίσου με τη μονάδα.
<b>Κόμβος</b>	Σημείο όπου αγωγοί συνδέονται μεταξύ τους και θεωρούμε αμελητέα ικανότητα αποθήκευσης λυμάτων.
<b>Κόμβος Εκροής</b>	Το τελικό σημείο εξόδου συστήματος αποχέτευσης γνωστού υψομέτρου στάθμης, όπου το νερό απορρίπτεται σε ρέμα υποδοχής ή μονάδα επεξεργασίας
<b>Διαχωριστής</b>	Σημείο του συστήματος αποχέτευσης όπου η ροή χωρίζεται σε δύο ξεχωριστούς αγωγούς.
<b>Μονάδα Αποθήκευσης</b>	Μια λίμνη ή κοιλάδα όπου αποθηκεύεται το νερό.
<b>Αγωγός</b>	Ένα κανάλι ή σωλήνας που μεταφέρει το νερό από τον έναν κόμβο του αποχετευτικού συστήματος στον άλλον.
<b>Αντλία</b>	Μια συσκευή που αυξάνει την υδραυλική πίεση του νερού.
<b>Πρακτική LID</b>	Αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου όπως τα περατά πεζοδρόμια, που χρησιμοποιούνται για μείωση της επιφανειακής απορροής.
<b>Χρονοσειρά</b>	Μια συνάρτηση που περιγράφει πως μεταβάλλεται μια ποσότητα σε σχέση με το χρόνο.

Το λογισμικό SWMM χρησιμοποιεί την εξίσωση Manning για να εκφράσει την σχέση μεταξύ της παροχής ( $Q$ ), του εμβαδόν διατομής ( $A$ ), της υδραυλικής ακτίνας ( $R$ ), της κλίσης πυθμένα ( $S$ ) (Rossman, 2015).

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

όπου  $Q$ =παροχή

$A$ = εμβαδόν της διατομής

$R$ = υδραυλική ακτίνα και

$S$ = κλίση πυθμένα αγωγού

$n$ = συντελεστής τραχύτητας

Η εξίσωση του Darcy-Weisbach χρησιμοποιείται για την εύρεση των απωλειών τριβής σε αγωγούς υπό πίεση (Rossman, 2015):

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} A R^{\frac{1}{2}} S^{1/2} \quad (2.14)$$

όπου  $f$ = συντελεστής τριβής

$g$ = επιτάχυνση βαρύτητας

Το SWMM χρησιμοποιώντας τα παραπάνω αντικείμενα μπορεί να προσομοιώσει τις ακόλουθες υδρολογικές διεργασίες (Rossman, 2015):

- ❖ Χρονικά μεταβαλλόμενη βροχόπτωση
- ❖ Συσσώρευση και τήξη χιονιού
- ❖ Εξάτμιση νερού από επιφανειακές κοιλότητες
- ❖ Επιφανειακή Αποθήκευση
- ❖ Διήθηση βροχόπτωσης στα υπόγεια στρώματα
- ❖ Επιφανειακή απορροή όμβριων υδάτων με τη χρήση αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου

Μερικές από τις τυπικές χρήσεις του λογισμικού SWMM είναι ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση εξαρτημάτων αποχετευτικού συστήματος για τον έλεγχο πλημμυρών, η εγκατάσταση δεξαμενών αποθήκευσης για προστασία της ποιότητας του νερού και ο σχεδιασμός στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση υπερχειλίσεως αποχετεύσεων (United States Environmental Protection Agency, 2023).

Ακόμη, μπορεί να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος της εισροής και της διήθησης στις υπερχειλίσεις αποχετεύσεων και να παρατηρηθεί η απορροή χρησιμοποιώντας διάφορες αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (United States Environmental Protection Agency, 2023).

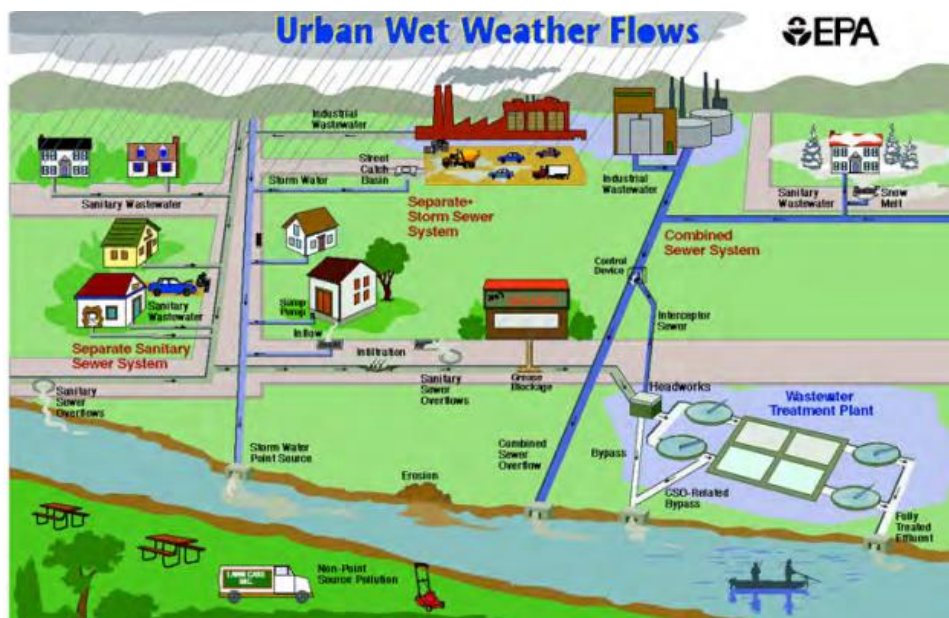
Για το SWMM, ένα σύστημα αποχέτευσης δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σύστημα ροής νερού και υλικών μεταξύ διαφόρων μεγάλων περιβαλλοντικών τμημάτων.

- ❖ Το τμήμα της Ατμόσφαιρας, στο οποίο παράγονται οι κατακρημνίσεις και οι ρύποι.



- ❖ Το τμήμα της Επιφάνειας Γης, που δέχεται τις κατακρημνίσεις από το προηγούμενο τμήμα σε μορφή βροχόπτωσης ή χιονιού. Αυτό με τη σειρά του, στέλνει εκροές στο τμήμα της Ατμόσφαιρας με εξάτμιση και στο τμήμα της Υπο-επιφάνειας με διήθηση.
- ❖ Το τμήμα της Υπο-Επιφάνειας μεταφέρει ένα μέρος της εισροής στο τμήμα Μεταφοράς με τη μορφή υπόγειων υδάτων και τέλος,
- ❖ Το τμήμα της Μεταφοράς, περιλαμβάνει το δίκτυο μεταφοράς, κανάλια, σωλήνες, αντλίες, ρυθμιστές και μονάδες αποθήκευσης που μεταφέρουν το νερό σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας. (Rossman, 2015)

Στην Εικόνα 2.5 απεικονίζεται ένα τυπικό σύστημα αποχέτευσης σε μια αστικοποιημένη περιοχή.



**Εικόνα 2.5: Τυπικό σύστημα αποχέτευσης (Πηγή: Rossman, 2015)**

Το λογισμικό SWMM περιέχει ένα ευέλικτο σύνολο δυνατοτήτων υδραυλικής μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση της απορροής και των εξωτερικών εισροών μέσω του δικτύου του αποχετευτικού συστήματος, σωλήνων, καναλιών και μονάδων αποθήκευσης. Μερικές από τις δυνατότητες του SWMM είναι (United States Environmental Protection Agency, 2023):

- ❖ Χειρισμός δικτύων αποχέτευσης ανεξάρτητα του μεγέθους τους.
- ❖ Ικανότητα μοντελοποίησης μεγάλης ποικιλίας ανοιχτών και κλειστών αγωγών, διαχωριστών ροής, αντλιών, μονάδων αποθήκευσης κ.α.
- ❖ Καθορισμός εξωτερικών εισροών από επιφανειακή απορροή, διείδυση νερού από βροχόπτωση αλλά και εισροών που καθορίζονται από χρήση.



- ❖ Μοντελοποίηση για κάθε μορφή ροής (ομοιόμορφη, ανομοιόμορφη, ανάστροφη κλπ.).
- ❖ Ικανότητα προσομοίωσης λειτουργίας αντλιών, στομιών με κανόνες δυναμικού ελέγχου που ορίζονται από τον χρήστη.

Η κατακρήμνιση είναι η κύρια κινητήρια δύναμη στην προσομοίωση βροχοπτώσεων-απορροής. Η ποσότητα και η ποιότητα της απορροής όμβριων υδάτων εξαρτάται άμεσα από την χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Μέσα στο SWMM, το αντικείμενο «Βροχόμετρο», χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μια πηγής δεδομένων βροχοπτώσεων (Rossman, 2015).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε αριθμός βροχόμετρων, για την αναπαράσταση της χωρικής μεταβλητότητας των βροχοπτώσεων. Τα δεδομένα βροχοπτώσεων για ένα συγκεκριμένο Βροχόμετρο μπορούν να οριστούν είτε από τον χρήστη είτε με εξωτερικό αρχείο δεδομένων (Rossman, 2015).

Το SWMM είναι ικανό να προσομοιώνει τόσο μεμονωμένα γεγονότα όσο και συνεχή γεγονότα βροχόπτωσης, με μόνη διαφορά μεταξύ των δύο όσον αφορά το SWMM να είναι η διάρκεια της προσομοίωσης που ζητάει ο χρήστης και τα αρχικά δεδομένα που θα χρειαστούν για την προσομοίωση μεμονωμένου γεγονότος (Rossman, 2015).

Το SWMM δεν μπορεί να φτιάξει από μόνο του τις χρονοσειρές, γι' αυτό καλείται ο χρήστης να έχει κάνει κάποια προεργασία. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει μια χρονοσειρά από βροχογράφο για συνεχή προσομοίωση ή εναλλακτικά μελετώντας τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής και τις ετήσιες μέγιστες τιμές των βροχοπτώσεων, καταλήγει σε μία όμβρια καμπύλη που θα χρησιμοποιήσει για να υπολογίσει τις σημειακές εντάσεις βροχοπτώσεων (Rossman, 2015).

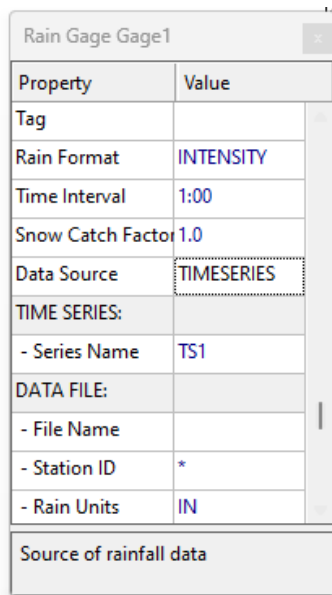
Αφού ο χρήστης επιλέξει την διάρκεια και περίοδο επαναφοράς βροχόπτωσης σχεδιασμού και υπολογίσει την ένταση της καταιγίδας που θέλει να προσομοιώσει στο λογισμικό, καλείται να φτιάξει και το υετογράφημα της βροχόπτωσης με κάποιο συγκεκριμένο χρονικό βήμα, στο οποίο φαίνεται η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Αυτό το υετογράφημα θα εισάγει μετά ο χρήστης μέσα στο πρόγραμμα σαν χρονοσειρά (Rossman, 2015).

Στην Εικόνα 2.6 απεικονίζονται οι ιδιότητες ενός βροχογράφου που πρέπει να συμπληρώσει ο χρήστης. Εκεί εισάγονται κρίσιμες πληροφορίες των βροχομετρικών δεδομένων όπως:

Τύπος Βροχόπτωσης (Rain Format), όπου ο χρήστης επιλέγει μεταξύ έντασης, όγκου και ισοδύναμου ύψους βροχοπτώσεως αναλόγως των δεδομένων.

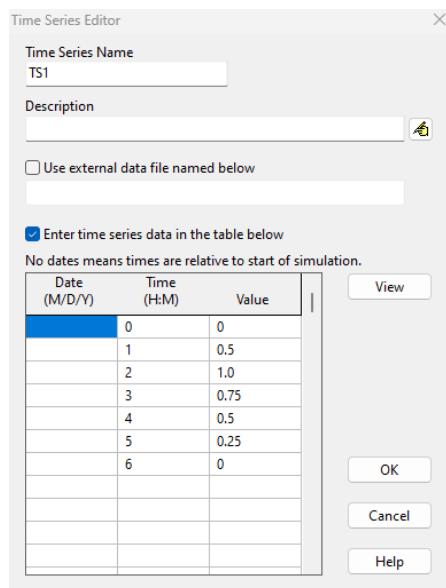
Χρονικό Βήμα Βροχόπτωσης (Time Interval), όπου επιλέγεται το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης που θα προσομοιωθεί μέσω του υετογραφήματος, π.χ. 1 λεπτό.

Πηγή Δεδομένων (Time Series ή Data File), όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θα εισάγει χειροκίνητα τις τιμές για την αναπαράσταση της βροχόπτωσης ή θα εισάγει κάποιο αρχείο που αναγνωρίζει το SWMM (Rossman, 2015).



**Εικόνα 2.6: Ιδιότητες βροχογράφου (Πηγή: Rossman, 2015)**

Στην Εικόνα 2.7 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά της χρονοσειράς που πρέπει να συμπληρώσει ο χρήστης.



**Εικόνα 2.7: Ιδιότητες χρονοσειράς (Πηγή: Rossman, 2015)**

Το λογισμικό SWMM είναι ένα καταναμημένο μοντέλο που επιτρέπει την υποδιαίρεση της περιοχής μελέτης σε οποιονδήποτε αριθμό ακανόνιστου σχήματος υπολεκανών απορροής. Αυτό πετυχαίνει την καλύτερη αποτύπωση της επίδρασης της χωρικής μεταβλητότητας στην τοπογραφία, στους τρόπους αποστράγγισης, στην κάλυψη γης και στα χαρακτηριστικά του εδάφους όσον αφορά την παραγωγή απορροής. Συνεπώς, η απορροή υπολογίζεται με βάση την κάθε υπολεκάνη ξεχωριστά (Rossman, 2015).

Το SWMM χρησιμοποιεί ένα μη γραμμικό μοντέλο δεξαμενής για να εκτιμήσει την επιφανειακή απορροή που παράγεται από τις βροχοπτώσεις πάνω από μια υπολεκάνη. Με βάση το λογισμικό, κάθε υπολεκάνη αντιλαμβάνεται ως μια ορθογώνια επιφάνεια που έχει ομοιόμορφη κλίση  $S$  και πλάτος  $W$  που αποστραγγίζει μόνο σε ένα κανάλι εξόδου. Οι εισροές στην υπολεκάνη θεωρούνται οι κατακρημνίσεις (βροχόπτωση και τήξη χιονιού) και οι απώλειες προέρχονται από εξάτμιση και διήθηση.

Για κάθε χρονικό βήμα, η μεταβολή του βάθους νερού  $d$ , ισούται με την διαφορά των εισροών και των εκροών της λεκάνης απορροής, και περιγράφεται μέσω της αρχής διατήρησης της μάζας (Rossman, 2015):

$$\frac{\delta d}{\delta t} = i - e - f - q \quad (2.15)$$

όπου  $i$ =ρυθμός βροχόπτωσης (mm/h)

$e$ =ρυθμός εξάτμισης (m/s)

$f$ =ρυθμός διήθησης (m/s)

$q$ =ρυθμός επιφανειακής απορροής (m/s)

Η παροχή και σε αυτή την περίπτωση, θεωρώντας ομοιόμορφη ροή σε όλη την υπολεκάνη, διατομή πλάτους  $W$ , κλίσης  $S$ , υπολογίζεται με βάση την εξίσωση του Manning.

Στο SWMM είναι διαθέσιμοι τρεις διαφορετικοί μέθοδοι υπολογισμού της διήθησης στις περατές περιοχές μιας υπολεκάνης. Αυτές είναι οι μέθοδοι Green-Ampt, Horton και Curve Number. Δεν υπάρχει γενική συμφωνία για το ποιο μοντέλο είναι το καλύτερο. Το μοντέλο Horton έχει μακρά ιστορία χρήσης σε δυναμικές προσομοιώσεις και το μοντέλο Curve Number χρησιμοποιείται σε απλουστευμένα μοντέλα απορροής (Rossman, 2015).

Το μοντέλο Horton βασίζεται σε εμπειρικές παρατηρήσεις που δείχνουν ότι η διήθηση μειώνεται εκθετικά από έναν αρχικό μέγιστο ρυθμό σε έναν ελάχιστο ρυθμό κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης διάρκειας βροχόπτωσης. Οι παράμετροι που χρειάζονται να εισαχθούν για το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνουν τον μέγιστο και ελάχιστο ρυθμό διήθησης, έναν συντελεστή που περιγράφει το πόσο γρήγορα μειώνεται ο ρυθμός διήθησης και τον χρόνο που χρειάζεται ένα πλήρως κορεσμένο έδαφος να στεγνώσει πλήρως (Rossman, 2015).

Το μοντέλο Green-Ampt έχει μελετηθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια (Rossman, 2015). Η μέθοδος αυτή εισάχθηκε στο λογισμικό SWMM το έτος 1981 και θεωρεί πως κατά την διαδικασία της διήθησης, το νερό που διεισδύει στο έδαφος, κινείται κάθετα προς τα κάτω σε ένα κορεσμένο στρώμα του εδάφους (Rossman, 2015). Μερικές από τις παραμέτρους που απαιτούνται είναι η αρχική υγρασία και η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (Rossman, 2015).

Η μέθοδος του Αμερικανικού Soil Conservation Service ή μέθοδος SCS, παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να εκτιμήσει την διήθηση (Rossman, 2015). Η παράμετρος  $CN$  (Αριθμός Καμπύλης Απορροής), μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 100, και εξαρτάται από τις χρήσεις

γης, τη περατότητα του εδάφους και τις συνθήκες υγρασίας της περιοχής μελέτης (Κουτσογιάννης et al., 2016, Chow et al., 1988).

Αρχικά κατατάσσονται τα εδάφη με βάση τη περατότητα τους, στις εξής ομάδες (Κουτσογιάννης et al., 2016, Chow et al., 1988):

**Ομάδα Α:** Μεγάλος ρυθμός διήθησης, όπως άμμος.

**Ομάδα Β:** Μέσος ρυθμός διήθησης, όπως αμμώδης πηλός.

**Ομάδα Γ:** Μικρός ρυθμός διήθησης, κυρίως ο άργιλος.

**Ομάδα Δ:** Πολύ Μικρός ρυθμός διήθησης, αδιαπέρατες επιφάνειες.

Εκτός των παραπάνω ομάδων, τα εδάφη κατατάσσονται και σε τρεις τύπους με βάση τις συνθήκες υγρασίες που επικρατούν (Κουτσογιάννης et al., 2016):

**Τύπος Ι:** Ξηρές Συνθήκες (ύψος βροχόπτωσης τις προηγούμενες 5 ημέρες μικρότερο των 13mm).

**Τύπος ΙΙ:** Μέσες Συνθήκες (ύψος βροχόπτωσης τις προηγούμενες 5 ημέρες μεταξύ 13mm και 38mm).

**Τύπος ΙΙΙ:** Υγρές Συνθήκες (ύψος βροχόπτωσης τις προηγούμενες 5 ημέρες άνω των 38mm).

Για συνθήκες υγρασίας ΙΙ, η παράμετρος *CN* υπολογίζεται άμεσα μέσω των αντίστοιχων πινάκων, όπως του Πίνακα 2.4, με βάση τις χρήσεις γης και του υδρολογικού τύπου εδάφους (Κουτσογιάννης et al., 2016).

Για συνθήκες υγρασίας Ι και ΙΙΙ, οι τιμές των παραμέτρων *CN* υπολογίζονται μέσω των παρακάτω εξ (2.16) και εξ (2.17) (Chow et al., 1988):

$$\text{Τύπος Ι: } CN \text{ I} = \frac{4.2 * CN_{II}}{10 - 0.058 * CN_{II}} \quad (2.16)$$

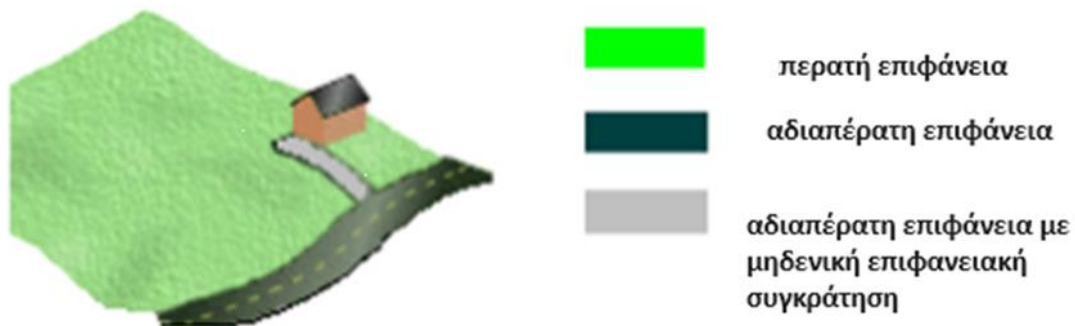
$$\text{Τύπος ΙΙ: } CN \text{ II} = \frac{23 * CN_{II}}{10 + 0.13 * CN_{II}} \quad (2.17)$$

**Πίνακας 2.4: Τιμές παραμέτρου Αριθμού Καμπύλης Απορροής (Rossman, 2015, Κουτσογιάννης et al., 2016)**

ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις	62-72	71-81	78-88	81-91
Λιβάδια	30-68	58-79	71-86	78-89
Δάση	25-45	55-66	70-77	77-83
<b>Ανοιχτοί χώροι, πάρκα</b>				
με κάλυψη από πράσινο >75%	39	61	74	80
με κάλυψη από πράσινο 50-75%	49	69	79	84
Εμπορικές Ζώνες	89	92	94	95

ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ			
	A	B	C	D
Βιομηχανικές Περιοχές (72% αδιαπέρατες)	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές Μέσο μέγεθος οικοπέδου (στρ)				
<0.5	77	85	90	92
1	61	75	83	87
1.5	57	72	81	86
2	54	70	80	85
4	51	68	79	84
Δρόμοι με οδόστρωμα και δίκτυο όμβριων	98	98	98	98
Δρόμοι χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
Χωματόδρομοι	72	82	87	89

Οι αστικές περιοχές μπορούν εύκολα να διαχωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: τις περατές επιφάνειες που επιτρέπουν την διήθηση της βροχόπτωσης στο έδαφος, και τις αδιαπέρατες επιφάνειες στις οποίες δεν επιτρέπεται η διήθηση (Rossman, 2015). Στην Εικόνα 2.8 απεικονίζεται ένα τυπικό παράδειγμα με τα είδη περιοχών όσων αφορά την περατότητα τους σε μια υπολεκάνη απορροής.



**Εικόνα 2.8: Είδη περιοχών μέσα σε υπολεκάνη (Πηγή: Rossman, 2015)**

Το λογισμικό SWMM επιτρέπει κάθε υπολεκάνη να έχει περατές και αδιαπέρατες υποπεριοχές, με τη χρήση της παραμέτρου «Ποσοστό Αδιαπερατότητας» που εισάγεται από τον χρήστη και ορίζει το ποσοστό που χωρίζεται η υπολεκάνη στις δύο παραπάνω κατηγορίες.

Για κάθε υπολεκάνη πρέπει να υπολογιστούν διάφορες παράμετροι, μερικές από αυτές αναλύονται ως εξής (Rossman, 2015):

Η έκταση της υπολεκάνης είναι η περιοχή που οριοθετείται από τα όρια της υπολεκάνης. Η τιμή καθορίζεται από χάρτες ή έρευνες πεδίου της περιοχής ή ακόμα και χρησιμοποιώντας το εργαλείο “Auto-Length” του SWMM όταν η υπολεκάνη σχεδιάζεται με κλίμακα στον χάρτη του λογισμικού (Rossman, 2015).

Το πλάτος της υπολεκάνης μπορεί να οριστεί ως η έκταση της υπολεκάνης διαιρούμενη με το μήκος της μακρύτερης διαδρομής ροής στην οποία μπορεί να ταξιδέψει το νερό (Rossman, 2015).

Η κλίση της υπολεκάνης είναι η κλίση της επιφάνειας του εδάφους πάνω από την οποία ρέει η απορροή και είναι ίδια τόσο για τις περατές όσο και για τις αδιαπέρατες επιφάνειες (Rossman, 2015).

Το ποσοστό αδιαπερατότητας μιας υπολεκάνης είναι μια παράμετρος που θεωρητικά μπορεί να μετρηθεί με καλή ακρίβεια χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες ή χάρτες χρήσεων γης. Μία μέθοδος εκτίμησης της αδιαπερατότητας όταν μιλάμε για μεγάλες εκτάσεις περιοχών, είναι να ορίσουμε ένα ποσοστό αδιαπερατότητας σε κάθε κατηγορία χρήσης γης. Έτσι γνωρίζοντας το ποσοστό χρήσης γης σε κάθε υπολεκάνη, είναι εύκολο να βρούμε το ποσοστό αδιαπερατότητας της περιοχής.

Μέσα στο λογισμικό, πρέπει να οριστούν ακόμα και τα βροχομετρικά δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την συγκεκριμένη υπολεκάνη αλλά και το μέρος εκβολής της απορροής (Rossman, 2015).

Στην Εικόνα 2.9 απεικονίζονται μερικές από τις ιδιότητες μιας υπολεκάνης απορροής στο λογισμικό SWMM. Συγκεκριμένα έχουμε:

Όνομα Υπολεκάνης: Ο χρήστης εισάγει το όνομα της υπολεκάνης που τον βοηθάει στην εύκολη και γρήγορη αναγνώριση/εύρεση της κάθε υπολεκάνης.

Συντεταγμένες Υπολεκάνης: Οι συντεταγμένες της υπολεκάνης πάνω στον σχεδιαστικό χάρτη του SWMM.

Βροχογράφος: Το όνομα του βροχογράφου του οποίου τα βροχομετρικά δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για την συγκεκριμένη υπολεκάνη.

Σημείο εξόδου της λεκάνης: Μπορεί να είναι κόμβος ή άλλη υπολεκάνη και είναι η θέση που αποβάλλεται η απορροή της εκάστοτε λεκάνης.

Έκταση: Το μέγεθος της υπολεκάνης.

Πλάτος: Το χαρακτηριστικό πλάτος της επίγειας ροής

Κλίση: Η μέση κλίση της υπολεκάνης.

Αδιαπερατότητα: Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής της υπολεκάνης.

Subcatchment S3	
Property	Value
Name	S3
X-Coordinate	-1543.135
Y-Coordinate	8432.564
Description	
Tag	
Rain Gage	Gage1
Outlet	J3
Area	4
Width	400
% Slope	0.5
% Imperv	25

Y coordinate of subcatchment centroid on map

**Εικόνα 2.9: Ιδιότητες υπολεκάνης απορροής στο λογισμικό SWMM (Πηγή: Rossman, 2015)**

#### 2.5.1 Αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου μέσω SWMM

Το λογισμικό SWMM μπορεί να μοντελοποιήσει αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που βοηθάνε στην μείωση της απορροής που προκαλείται από αδιαπέρατες περιοχές κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων. Μερικές από τις αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που μπορεί να μοντελοποιήσει είναι οι πράσινες στέγες, περατά πεζοδρόμια, βαρέλια συλλογής όμβριων υδάτων, κήποι βροχής κ.α. (Rossman, 2015).

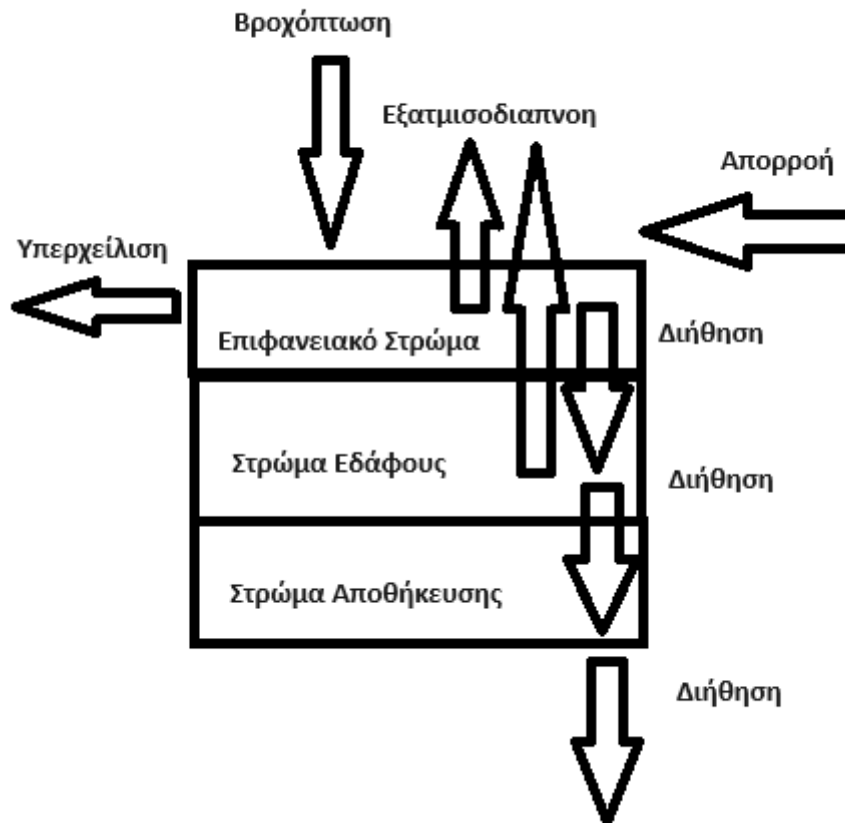
Εννοιολογικά, μια κοινή αειφόρα πρακτική διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, μπορεί να αναπαρασταθεί από έναν αριθμό κατακόρυφων στρωμάτων. Αυτό επιτρέπει στις αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που έχουν τον ίδιο σχεδιασμό αλλά καλύπτουν διαφορετικές επιφάνειες να μπορούν εύκολα να κατανεμηθούν σε διαφορετικές υπολεκάνες μιας περιοχής μελέτης (Rossman, 2015).

Το επιφανειακό στρώμα δέχεται βροχόπτωση και απορροή από άλλες περιοχές ενώ χάνει νερό μέσω διήθησης στο στρώμα του εδάφους που είναι κάτω από αυτό και με εξατμισοδιαπνόνη του νερού που είχε αποθηκεύσει. Το στρώμα του εδάφους μπορεί να υποστηρίξει βλάστηση, δέχεται την διήθηση του νερού από το επιφανειακό στρώμα ενώ παράλληλα χάνει νερό από εξατμισοδιαπνόνη και διήθηση νερού στο στρώμα αποθήκευσης (Rossman, 2015).

Με τη σειρά του, το στρώμα αποθήκευσης που αποτελείται από πέτρες ή χαλίκια, δέχεται διήθηση από το στρώμα του εδάφους και χάνει νερό με διήθηση στο υποκείμενο φυσικό

έδαφος ή σε σύστημα αποστράγγισης. Η υδρολογική απόδοση της συγκεκριμένης αιφόρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου μπορεί να μοντελοποιηθεί με την επίλυση εξισώσεων που εκφράζουν την μεταβολή του όγκου του νερού καθώς ρέει από στρώμα σε στρώμα (Rossman, 2015).

Στην Εικόνα 2.10 απεικονίζεται η εννοιολογική αναπαράσταση μιας κοινής αιφόρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου.



**Εικόνα 2.10: Εννοιολογική αναπαράσταση κοινής αιφόρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Πηγή: Rossman, 2015)**

Οι αιφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου είναι μια μέθοδος περιορισμού της απορροής, που χρησιμοποιεί τροποποιήσεις στην επιφάνεια πάνω ή δίπλα από αδιαπέρατες περιοχές που παράγουν το μεγαλύτερο μέρος της απορροής σε αστικοποιημένες περιοχές. Γι' αυτό το λόγο, το SWMM θεωρεί τις αιφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου ως μέρος των Αντικειμένων Υπολεκάνης, όπου για κάθε πρακτική εκχωρείται το κλάσμα της υπολεκάνης της οποίας την απορροή απορροφά (Rossman, 2015).

Οι μεταβλητές σχεδιασμού που επηρεάζουν την υδρολογική απόδοση των αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου περιλαμβάνουν τις ιδιότητες του εδάφους, το κατακόρυφο βάθος των στρωμάτων, την υδραυλική ικανότητα του συστήματος υπόστρωσης και την επιφάνεια της ίδιας της πρακτικής. Η αξιοποίηση αιφόρων πρακτικών διαχείρισης

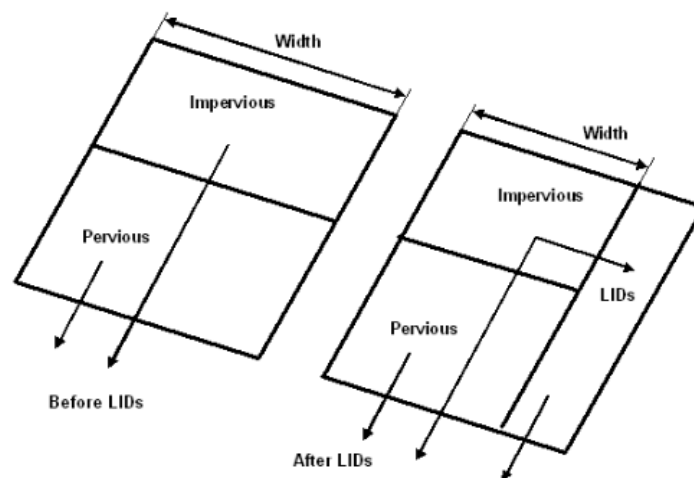


πλημμυρικού κινδύνου μέσω του SWMM είναι μια διαδικασία με δύο φάσεις. Αρχικά σχεδιάζουμε αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που είναι ανεξάρτητες από κλίμακα και ύστερα τις εγκαθιστούμε με ό,τι συνδυασμό και μέγεθος θέλουμε στην επιλεγμένη υπολεκάνη, εφόσον οι υπολογισμοί έχουν γίνει ανά μονάδα επιφάνειας (Rossman, 2015).

Υπάρχουν δύο τρόποι προσέγγισης για την αναπαράσταση των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου με το λογισμικό SWMM (Rossman, 2015):

1. Μία ή περισσότερες αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου προσομοιώνονται σε μια υφιστάμενη υπολεκάνη. Κάθε μία λαμβάνει ένα κλάσμα της συνολικής απορροής που παράγεται στην αδιαπέρατη περιοχή της υπολεκάνης. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου λειτουργούν παράλληλα και δεν είναι δυνατόν να ενεργήσουν σε σειρά (δηλαδή η εκροή από την μία πρακτική να γίνει η εισροή της άλλης). Επίσης, το ποσοστό αδιαπερατότητας και το πλάτος της υπολεκάνης ενδέχεται να χρειαστούν προσαρμογή για να αντισταθμιστεί η ποσότητα της αρχικής περιοχής υπολεκάνης που πλέον έχει αντικατασταθεί από τις αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου.

Στην Εικόνα 2.11 απεικονίζεται η προσαρμογή ιδιοτήτων της υπολεκάνης απορροής λόγω τοποθέτησης αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου.



**Εικόνα 2.11: Προσαρμογή ιδιοτήτων της υπολεκάνης λόγω τοποθέτησης αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Πηγή: Rossman, 2015)**

2. Μία μόνο αιεφόρα πρακτική διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου ή και πολλές «αντιγραφές» της ίδιας, προσομοιώνονται σε ολόκληρη την περιοχή της υπολεκάνης. Οι εισροές αποτελούνται από την άμεση βροχόπτωση και την απορροή που ρέει από οποιαδήποτε ανάντη υπολεκάνη που συνδέεται με την υπολεκάνη ενδιαφέροντος.

Η δεύτερη αυτή προσέγγιση επιτρέπει στις αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου να λειτουργούν σε σειρά και να επιτρέπουν την απορροή από πολλές διαφορετικές

υπολεκάνες που βρίσκονται ανάντη να κατευθυνθεί προς την υπολεκάνη. Η πρώτη προσέγγιση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για πολύ μεγάλες περιοχές μελέτης, όπου ένας συνδυασμός αιφύρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου θα αναπτυχθεί σε πολλές διαφορετικές υπολεκάνες. Η δεύτερη προσέγγιση είναι πιο πρακτική για μικρότερες περιοχές μελέτης, όπου είναι επιθυμητή η λεπτομερής ανάλυση μίας συγκεκριμένης αιφύρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Η απόδοση τους αντικατοπτρίζεται από τον συνολικό όγκο απορροής και τους ρυθμούς διήθησης και εξατμισοδιαπνοής που υπολογίζονται για την υπολεκάνη από το SWMM. Ακόμη, στο λογισμικό υπάρχει και ξεχωριστή ενότητα που περιγράφεται το συνολικό υδατικό ισοζύγιο για κάθε αιφύρα πρακτική διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που έχει εγκατασταθεί σε κάθε υπολεκάνη, που παρέχει πληροφορίες για την συνολική εισροή, την διήθηση, την εξάτμιση, την επιφανειακή απορροή, τους συνολικούς αρχικούς και τελικούς αποθηκευμένους όγκους νερού, εκφρασμένες σε ίντσες ή χιλιοστά (Rossman, 2015).

## 2.6 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η μεταπτυχιακή εργασία του Μπούκα (2019) είχε ως στόχο την μελέτη, αναπαράσταση και προσομοίωση της Ζώνης Z2 του Παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου της πόλης των Αθηνών. Η προσομοίωση έλαβε χώρα με τη χρήση του λογισμικού Storm Water Management Model (SWMM), του Αμερικάνικου Οργανισμού Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency – EPA). Στόχευσε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αιφύρων πρακτικών διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου, αναφορικά με τη μείωση του όγκου απορροής και της παροχής αιχμής. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Z2 Ζώνη του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, εκτάσεως 66.51km<sup>2</sup>. Τα λογισμικά QGIS και ArcGIS αξιοποιήθηκαν για την ψηφιοποίηση του αποχετευτικού δικτύου, ενώ η χάραξη των υπολεκάνων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Autocad. Για την ενοποίηση των αστικών λεκανών απορροής αξιοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap, χρησιμοποιώντας τους υδροκρίτες κάθε οικοδομικού τετραγώνου και του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής μελέτης. Το λογισμικό inp.PINS χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του αρχείου εισόδου της υπό μελέτης περιοχή στο λογισμικό SWMM, με το οποίο έλαβε χώρα η μοντελοποίηση του αποχετευτικού δικτύου της περιοχής μελέτης. Στο SWMM εισάχθηκαν οι παράμετροι για τις λεκάνες (εμβαδόν, πλάτος επίγειας ροής, κλίσεις υπολεκάνης, ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας, συντελεστής Manning, επιφανειακή αποθήκευση και μέγεθος διήθησης), τα φρεάτια (υψόμετρο πυθμένα, μέγιστο βάθος νερού, inflows) και τους αγωγούς (φρεάτιο εισόδου-εξόδου, μήκος και είδος αγωγού, συντελεστής Manning, διάμετρος κυκλικών αγωγών, μέγιστο βάθος), ενώ για την εισαγωγή χρονοσειρών στο σύστημα, χρειάστηκε η δημιουργία υετογραφημάτων με τη χρήση της όμβριας καμπύλης η οποία έχει προταθεί για την περιοχή των Αθηνών από τους Μιμίκου et al. (2000). Με βάση τη συγκεκριμένη όμβρια καμπύλη, εκτιμήθηκαν οι βροχοπτώσεις σχεδιασμού για διάφορες περιόδους επαναφοράς (2, 5, 10, 25 και 50 έτη) και για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης (1, 2, 6 και 12 ώρες). Υπολογίστηκαν τα ύψη βροχής και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα υετογραφήματα με χρονικό βήμα 10min, με τη μέθοδο των Εναλλασσόμενων Υψών Βροχής. Ο συντελεστής

απόδοσης Nash-Sutcliffe χρησιμοποιήθηκε για την σωστή βαθμονόμηση του μοντέλου, αξιοποιώντας τα υετογραφήματα σχεδιασμού και δεδομένα για δύο αγωγούς του συστήματος. Η βαθμονόμηση έγινε με βάση τις παραμέτρους του πλάτους της λεκάνης, του συντελεστή Manning των αγωγών, του ποσοστού αδιαπέρατης επιφάνειας, του συντελεστή Manning σε περατή και αδιαπέρατη επιφάνεια και την επιφανειακή αποθήκευση σε περατά και αδιαπέρατα εδάφη. Επιλέχθηκαν ορισμένες αρχικές τιμές έπειτα από εργασίες στο Arc GIS ή προϋπάρχουσα βιβλιογραφία και στη συνέχεια έγιναν τροποποιήσεις εντός επιτρεπόμενων ορίων σε αυτές τις τιμές και πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για την κάθε μία. Τα αποτελέσματα που αφορούσαν τις παροχές των αγωγών χρησιμοποιήθηκαν στην εξίσωση του συντελεστή απόδοσης έως ότου να επιτευχθεί μια τιμή κοντά στο 1. Οι συντελεστές απόδοσης Nash-Sutcliffe για τους δύο αγωγούς στο υπό μελέτη δίκτυο βρέθηκαν 0.913 και 0.724. Οι αιτιολογίες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που εξετάστηκαν ήταν: (i) οι πράσινες στέγες, (ii) τα περατά πεζοδρόμια/επιφάνειες, και (iii) η αποσύνδεση οροφής. Για τις προαναφερθείσες πρακτικές οι απαραίτητες παράμετροι προσδιορίστηκαν βιβλιογραφικά (Rossman 2015). Συνολικά αναπτύχθηκαν 7 σενάρια τα οποία ήταν: Σενάριο 1 με αποκλειστική χρήση πράσινων στεγών, Σενάριο 2 με αποκλειστική χρήση περατών επιφανειών, Σενάριο 3 με αποκλειστική χρήση αποσύνδεσης οροφής, Σενάριο 4 με συνδυαστική χρήση πράσινων στεγών και περατών επιφανειών, Σενάριο 5 με συνδυαστική χρήση πράσινων στεγών και αποσύνδεσης οροφής, Σενάριο 6 με ταυτόχρονη διαστασιολόγηση αποσύνδεσης οροφής και περατών επιφανειών και τέλος το Σενάριο 7 με συνδυαστική χρήση και των τριών αιτιολογικών πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Τα αποτελέσματα στην προσομοίωση κατέδειξαν πως η τωρινή κατάσταση του αποχετευτικού συστήματος αδυνατούσε να αποχετεύσει σωστά την απορροή για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25 και 50 έτη και διάρκειας 1, 2, 6 και 12 ωρών. Γι' αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση αιτιολογικών πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 10 ετών, διάρκειας 1 και 12 ωρών, αξιολογώντας και τα 7 προαναφερθέντα σενάρια ως προς την απόδοσή τους. Όλα τα συνδυαστικά σενάρια που χρησιμοποίησαν τουλάχιστον 2 αιτιολογικές πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου πέτυχαν μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης της απορροής σε σχέση με όσα εφαρμόστηκαν μεμονωμένα, με καλύτερο το Σενάριο 7, που ήταν η συνδυαστική χρήση και των τριών πρακτικών και πέτυχε τη μεγαλύτερη μείωση παροχής αιχμής σε ποσοστό 77% για διάρκεια βροχής μίας ώρας και 70% για διάρκεια βροχόπτωσης δώδεκα ωρών. Η μικρότερη μείωση της αιχμής παροχής παρατηρήθηκε για τα σενάρια που περιείχαν αποκλειστική χρήση πράσινων στεγών (Σενάριο 1) και αποκλειστική χρήση του μέτρου της αποσύνδεσης οροφής (Σενάριο 3), με μείωση 30% και 18.7%, και για τις δύο εξεταζόμενες διάρκειες αντίστοιχα. Ενδιαφέρον προκάλεσε η οικονομική διάσταση του θέματος. Το Σενάριο 4 (πράσινη στέγη & περατά πεζοδρόμια) προέκυψε ως το πιο δαπανηρό, με το κόστος κύκλου ζωής περίπου στα 28 εκατομμύρια €, αν και δεν παρήγαγε τα καλύτερα αποτελέσματα (περίπου 60% ποσοστιαία μείωση της αιχμής της απορροής). Η κατασκευή της πράσινης στέγης κρίθηκε ως η πλέον δαπανηρή. Το Σενάριο 7 πέτυχε το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης της αιχμής απορροής (περίπου 77%) και το δεύτερο μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος σε χρηματικές μονάδες (434,500€/χρόνο).

Η διπλωματική εργασία της Παπούλια (2022) είχε ως στόχο την προσομοίωση της Ζώνης Β' του Παντοροϊκού αποχετευτικού συστήματος των Αθηνών, με τη χρήση του λογισμικού Storm Water Management Model (SWMM), ενώ παράλληλα μελετήθηκε και η αποτελεσματικότητα εφαρμογής ορισμένων αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου όσον αφορά τον μετριασμό των πλημμυρικών φαινομένων. Περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Ζώνη Β' του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου της πόλης των Αθηνών. Για την μοντελοποίηση του αποχετευτικού δικτύου της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SWMM. Με σκοπό την κατάρτιση των υετογραφημάτων σχεδιασμού, αξιοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη των Mimikou et al. (2000) και δημιουργήθηκαν 36 συνθετικές βροχοπτώσεις. Για την χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Εναλλασσόμενων Υψών Βροχόπτωσης, με χρονικό βήμα 5 λεπτών και υπολογίστηκαν οι βροχοπτώσεις για διάρκειες 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ώρες και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 και 100 χρόνια. Οι μέθοδοι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που εφαρμόστηκαν ήταν: πράσινες στέγες, περατά οδοστρώματα και αποσύνδεση εκροής στέγης. Οι παράμετροι για τις αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν βασισμένες σε προηγούμενες μελέτες των: Kourtis et al. (2018) και Μπούκας (2019). Για τις τρεις αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω τέσσερα συνδυαστικά σενάρια: Σενάριο 1 με συνδυαστική χρήση πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων, Σενάριο 2 με συνδυαστική χρήση πράσινης στέγης και αποσύνδεσης εκροής στέγης, Σενάριο 3 με συνδυαστική χρήση περατών οδοστρωμάτων και αποσύνδεσης εκροής στέγης και τέλος το Σενάριο 4 με την συνδυαστική χρήση και των τριών αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης της υπάρχουσας κατάστασης του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για την Ζώνη Β' και για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50, και 100 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ωρών κατέδειξαν ότι το σύστημα αστοχούσε για κάθε προσομοίωση. Πάντα υπήρχαν φρεάτια που πλημμύριζαν, αγωγοί όπου η ταχύτητα ροής ήταν μεγαλύτερη από 6m/s και ο λόγος πλήρωσης μεγαλύτερος 0.8, με αποτέλεσμα να μην ικανοποιούνται τα όρια του Π.Δ. 696/74. Τα μέτρα αντιμετώπισης του πλημμυρικού κινδύνου διαστασιολογήθηκαν για διάρκεια βροχόπτωσης 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 10 έτη, με σκοπό την μείωση της απορροής και των πλημμυρικών φαινομένων. Και για τα τρία πρώτα Σενάρια που συνδυάζαν δύο αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, τα αποτελέσματα για την μείωση του πλημμυρικού όγκου και της αιχμής απορροής ήταν περίπου ίδια με ποσοστά 22% και περίπου 64%, αντίστοιχα. Το Σενάριο 4 (συνδυασμός και των 3 αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου) είχε τα καλύτερα αποτελέσματα, με ποσοστιαία μείωση του όγκου απορροής περίπου 20% και ποσοστιαία μείωση της αιχμής απορροής περίπου 80%. Όσον αφορά την οικονομική πτυχή του προβλήματος, το Σενάριο 4 αποφάνθηκε ως το πιο αποδοτικό σε ότι αφορά τον υδρολογικό τομέα (ποσοστιαία μείωση αιχμής απορροής 82%), όμως, η εφαρμογή και των τριών μεθόδων αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου αύξανε κατακόρυφα το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του έργου. Το Σενάριο 3 κρίθηκε ως το καλύτερο, εφόσον παρατηρήθηκε μείωση της παροχής αιχμής κατά 64% και του όγκου απορροής κατά 22% ενώ παράλληλα ήταν αρκετά οικονομικό.

Οι Soulis et al. (2017) εξέτασαν την σχέση μεταξύ της μείωσης απορροής για διαφορετικούς τύπους εγκατάστασης συστημάτων πράσινης στέγης, των αρχικών συνθηκών υγρασίας του υποστρώματος διαφόρων ειδών βλάστησης και του συνολικού ύψους βροχής. Ως περιοχή μελέτης της έρευνας επιλέχθηκε η οροφή του κτηρίου της Βιβλιοθήκης του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στην Ελλάδα, όπου εγκαταστάθηκαν οι μονάδες πράσινων στεγών και η έρευνα διήρκησε από τις 15 Ιανουαρίου του 2015 μέχρι τις 15 Ιανουαρίου του 2016. Χρησιμοποιήθηκαν 30 εξειδικευμένα ορθογώνια, θερμικά μονωμένα λυσίμετρα, και μέσα στο καθένα προσομοιώθηκε ένα πλήρες σύστημα πράσινης στέγης, αποτελούμενο από ένα προστατευτικό στρώμα πάνω από τη στεγανωτική μεμβράνη και ένα άνοιγμα εκροής που συνδέθηκε με σωλήνα οδηγώντας την απορροή σε ένα σύστημα κάδου ανατροπής. Εγκαταστάθηκε ένα στρώμα αποστράγγισης και τέλος το υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών. Από τα 30 λυσίμετρα, 14 είχαν βάθος υποστρώματος 8cm και 14 είχαν βάθος υποστρώματος 16cm. Κάθε λυσίμετρο ήταν εξοπλισμένο με αυτόνομο-αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης με σταγόνες. Τα τελευταία 2 λυσίμετρα, έμειναν τελείως άδεια χωρίς καμία εγκατάσταση πράσινης στέγης, και χρησιμοποιήθηκαν ως συμβατικές οροφές. Μελετήθηκαν τρία διαφορετικά φυτικά κάλυμματα, ένα παχύφυτο (*S.sediforme*), ένα ξερόφυτο (*O.onites*), και ένα είδος χλοοτάπητα (*F.arundinacea*). Κάθε είδος φυτού καταλάμβανε 4 λυσίμετρα με υπόστρωμα 8cm και άλλα 4 λυσίμετρα με υπόστρωμα 16cm. Ακόμη, 4 λυσίμετρα αφέθηκαν χωρίς φυτικό κάλυμμα με γυμνό υπόστρωμα, ισόποσα χωρισμένα με βάθος υποστρώματος 8cm και 16cm. Κατά τη συνολική διάρκεια της μελέτης, καταγράφηκαν 45 βροχοπτώσεις και μετρήθηκαν για κάθε μια το συνολικό ύψος βροχής, ο συνολικός όγκος και η αιχμή της απορροής, ενώ παράλληλα μελετήθηκε η αρχική υγρασία του υποστρώματος κάθε πράσινης στέγης. Η μείωση του όγκου απορροής για όλα τα λυσίμετρα, κυμάνθηκε μεταξύ 2% και 100%, ενώ η μείωση της παροχής αιχμής ήταν μεταξύ 17% και 100%. Οι μεγαλύτερες μειώσεις απορροής παρατηρήθηκαν στα λυσίμετρα υποστρώματος 16cm σε συνδυασμό με ξερόφυτα, με χαμηλή αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία του υποστρώματος και για μικρού ύψους βροχές. Η μικρότερη μείωση απορροής (2%) εντοπίστηκε για το λυσίμετρο χωρίς φυτικό κάλυμμα και βάθος υποστρώματος 16cm, κατά τη διάρκεια της δεύτερης μεγαλύτερης βροχοπτώσεως. Σε αντίθεση, πλήρης εξάλειψη (100%) της απορροής παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων χαμηλής έντασης (0.01 mm/λεπτό) και για λυσίμετρα με ξηρότερες αρχικές συνθήκες του υποστρώματος. Συνολικά για όλη τη διάρκεια της μελέτης, το μεγαλύτερο ύψος απορροής (230.1 mm) εντοπίστηκε στο λυσίμετρο χωρίς φυτικό κάλυμμα και βάθος υποστρώματος 8cm (50.6% μείωση), ενώ το μικρότερο ύψος απορροής (88.2mm) εντοπίστηκε στο λυσίμετρο με ξερόφυτα και βάθος 16cm (81.1% μείωση). Γενικά στα λυσίμετρα όπου φυτεύτηκαν ξερόφυτα (*O.onites*) παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες μειώσεις απορροής (72.4%), ενώ τα λυσίμετρα φυτεμένα με χλοοτάπητα και αυτά με παχύφυτα πέτυχαν μείωση επιφανειακής απορροής 61.8% και 55.6% αντίστοιχα. Τα λυσίμετρα χωρίς φυτική κάλυψη είχαν τις ελάχιστες συνολικές μειώσεις απορροής (52.7%). Η ικανότητα μεγάλης μείωσης της απορροής των ξερόφυτων (*O.onites*), συνδέθηκε με τους αυξημένους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής τους, με αποτέλεσμα την άμεση μείωση της υγρασίας του υποστρώματος στο χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών βροχοπτώσεων. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες μειώσεις απορροής, λόγω του χαμηλού ύψους

βροχοπτώσεων και της χαμηλής αρχικής υγρασίας του υποστρώματος εξαιτίας των αυξημένων ρυθμών εξατμισοδιαπνοής.

Οι Suresh et al. (2023) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα εφαρμογής ορισμένων αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου ως προς την μείωση της αιχμής και όγκου απορροής για τέσσερις λεκάνες απορροής στη βορειοανατολική Ινδία, ενώ παράλληλα εξετάστηκε και ο επανασχεδιασμός του αποχετευτικού συστήματος με αλλαγές στις διατομές, στα υλικά κατασκευής και στις παραμέτρους του δικτύου, ως μέτρο μετριασμού του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης. Σε αυτή τη μελέτη, τέσσερις σχετικά μικρές λεκάνες απορροής που η έκταση τους κυμαίνεται από 0.07 km<sup>2</sup> μέχρι και 0.21 km<sup>2</sup>, επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στον μετριασμό της αστικής απορροής. Το υπάρχον αποχετευτικό δίκτυο κρίθηκε ως ανεπαρκές για την διαχείριση των όμβριων υδάτων. Τα ημερήσια και 15λεπτα δεδομένα βροχοπτώσεων από το 1981 έως το 2017 συλλέχθηκαν από την μετεωρολογική υπηρεσία της περιοχής και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της όμβριας καμπύλης, ενώ έγινε και η λήψη 14 παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (GCM) από το Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5). Αυτά χρησιμοποιήθηκαν για χωρικό καταβιβασμό των μελλοντικών ημερήσιων βροχοπτώσεων τεσσάρων αντιπροσωπευτικών σεναρίων συγκέντρωσης θερμοκηπικών αερίων (RCP). Τα μελλοντικά δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης επιμερίστηκαν σε μικρότερης διάρκειας βροχομετρικά δεδομένα, ώστε να προκύψουν οι μελλοντικές όμβριες καμπύλες. Εν τέλει, με επεξεργασία παρήγαγαν τις εντάσεις βροχοπτώσεων για τρεις διαφορετικές μελλοντικές περιόδους: (P1) 2021-2047, (P2) 2048-2074 και (P3) 2075-2100. Παρατηρήθηκε ότι το Representative Concentration Pathway (RCP) 6.0 παρήγαγε βροχοπτώσεις μεγαλύτερης έντασης για το (P1), ενώ τα RCP 4.5 και 8.5 χρησιμοποιήθηκαν για τις μελλοντικές περιόδους (P2) και (P3), αντίστοιχα. Με τη χρήση της όμβριας καμπύλης, υπολογίστηκαν τα υετογραφήματα για βροχοπτώσεις διάρκειας 15 λεπτών και περιόδου επαναφοράς 2, 5 και 10 ετών. Για όλες τις μελλοντικές περιόδους παρατηρήθηκαν αυξημένες εντάσεις βροχοπτώσεων λόγω της κλιματικής αλλαγής. Για την ψηφιακή αναπαράσταση του δικτύου αποχέτευσης και της διαστασιολόγησης των αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SWMM. Με βάση τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, επιλέχθηκαν τέσσερις διαφορετικές αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου: οι πράσινες στέγες, οι τάφροι διείσδυσης, τα βαρέλια συλλογής όμβριων υδάτων και τα περατά πεζοδρόμια. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά τους στον μετριασμό των πλημμυρών ήταν τα εξής: Σενάριο 1 με την τωρινή κατάσταση του αποχετευτικού δικτύου, Σενάριο 2 με επανασχεδιασμό του αποχετευτικού συστήματος με αλλαγή του είδους διατομής των αγωγών, του υλικού κατασκευής του αποχετευτικού συστήματος και των παραμέτρων του, Σενάριο 3 με χρήση τάφρου διείσδυσης, Σενάριο 4 με χρήση πράσινων στεγών, Σενάριο 5 με χρήση περατών πεζοδρομίων, Σενάριο 6 με χρήση βαρελιών συλλογής όμβριων υδάτων, Σενάριο 7 που αφορά μελλοντική βροχόπτωση χωρίς χρήση αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου και το Σενάριο 8 που πάλι αφορά μελλοντική βροχόπτωση αλλά με χρήση πράσινων στεγών. Το Σενάριο 2 πέτυχε μείωση του όγκου απορροής μόλις κατά 3% περίπου για όλες τις λεκάνες και για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5 και 10 ετών. Η παροχή αιχμής μειώθηκε κατά 2% σε μια υπολεκάνη, ενώ

στις υπόλοιπες παρατηρήθηκε αύξηση στην παροχή αιχμής. Το κόστος επανασχεδιασμού του αποχετευτικού συστήματος κρίθηκε ως δυσανάλογο σε σχέση με την μείωση της απορροής που επιφέρει μια τέτοια εργασία. Η εφαρμογή των αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου και της αιχμής απορροής για όλες τις λεκάνες απορροής. Το Σενάριο 4 ήταν το πιο αποτελεσματικό, μειώνοντας τον όγκο απορροής κατά 37%, 83%, 51% και 36% και την αιχμή απορροής κατά 41%, 85%, 52% και 39% για τις λεκάνες απορροής Α, Β, Γ και Δ αντίστοιχα. Η λιγότερο αποτελεσματική αιφόρα πρακτική διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου αποδείχθηκε η τάφρος διείσδυσης, που κατατάχθηκε τελευταία στο ποσοστό μείωσης της απορροής στις τρεις από τις τέσσερις λεκάνες. Στα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα παρατηρήθηκε αύξηση στην ένταση των βροχοπτώσεων και της συνολικής απορροής σε σχέση με την τωρινή κατάσταση. Στη περίοδο P3 παρουσιάζεται ο μεγαλύτερος όγκος απορροής. Σε αυτές τις τρεις κλιματικές περιόδους χρησιμοποιήθηκαν οι πράσινες στέγες ως αιφόρα πρακτική διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου και παρατηρήθηκε μείωση στον όγκο απορροής κατά 30%, 83%, 50% και 34% για τις λεκάνες απορροής Α, Β, Γ και Δ αντίστοιχα. Εκτός αυτών, ο συντελεστής απορροής ήταν υψηλός, κοντά στο 0.9, για τις τέσσερις λεκάνες απορροής πριν διαστασιολογηθούν οι αιφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Μετά την εφαρμογή τους, υπήρξε σημαντική μείωση του συντελεστή για όλες τις λεκάνες. Η μικρότερη τιμή συντελεστή απορροής εμφανίστηκε στην υπολεκάνη Β (0.1), όπου προσομοιώθηκαν πράσινες στέγες.

Οι Palermo et al. (2020) αξιολόγησαν την ικανότητα των αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στην μείωση της επιφανειακής απορροής και, κατά συνέπεια, τον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας στις πόλεις. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η εξαιρετικά αστικοποιημένη λεκάνη απορροής (San Domenico Creek) που βρίσκεται στον Δήμο Paola, στην Καλαβρία, Ιταλία. Οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης ήταν οι εξής: 28.9% στέγες, 67.1% δρόμους-χώρους στάθμευσης και μόλις 4% χώροι με πράσινο. Η σχεδόν πλήρως αδιαπέρατη περιοχή μελέτης κρίθηκε ως ο πλέον κατάλληλος χώρος για την υλοποίηση αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Δημιουργήθηκαν τρία συνδυαστικά Σενάρια εγκατάστασης συστημάτων πράσινης στέγης και περατών επιφανειών: Σενάριο 0 όπου επικρατούσε η τωρινή κατάσταση στην περιοχή μελέτης, Σενάριο 1 με 30% αντικατάσταση, Σενάριο 2 με 60% αντικατάσταση και Σενάριο 3 με 100% αντικατάσταση των συμβατικών στεγών και στεγανών επιφανειών με πράσινες στέγες και περατά πεζοδρόμια αντίστοιχα. Για την ψηφιακή αναπαράσταση του δικτύου και την προσομοίωση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PCSWMM. Η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε σε βροχομετρικά ιστορικά δεδομένα (1945-2005) από τον Οργανισμό Περιβάλλοντος στην περιφέρεια της Καλαβρίας. Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε υετογράφημα διάρκειας 30 λεπτών και περιόδου επαναφοράς 10 έτη. Για τα Σενάρια 1, 2, 3 πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση των αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου μέσω του ίδιου λογισμικού χρησιμοποιώντας ως βάση, συγκεκριμένες πράσινες στέγες και περατά πεζοδρόμια που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο της Καλαβρίας. Η αποτελεσματικότητα κάθε Σεναρίου αξιολογήθηκε ως προς τον συντελεστή απορροής, την μείωση του όγκου επιφανειακής απορροής και την μείωση της αιχμής της απορροής σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο. Στο Μηδενικό Σενάριο παρατηρήθηκε 90% αδιαπέρατη επιφάνεια σε ολόκληρη την περιοχή

μελέτης. Με τη εφαρμογή σεναρίων αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, εντοπίστηκε μεγάλη μείωση του ποσοστού αδιαπέρατων επιφανειών, με το μέγιστο ποσοστό να εμφανίζεται στο Σενάριο 3 (40%). Ακόμη, σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο, η χρήση των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του όγκου απορροής και της αιχμής απορροής σε κάθε Σενάριο αναλόγως με το ποσοστό αντικατάστασης που είχαν οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στην συνολική επιφάνεια της περιοχής. Η εφαρμογή της πράσινης στέγης και των περατών πεζοδρομίων στο 30% της αδιαπέρατης επιφάνειας της περιοχής, είχε ως αποτέλεσμα την μείωση κατά 25.9% του όγκου απορροής και κατά 31.4% της αιχμής απορροής. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για τα Σενάρια 2 και 3, με μέγιστη μείωση όγκου απορροής 62.8% και αιχμής απορροής 83.8% (Σενάριο 3). Επιπλέον, ο συντελεστής απορροής μειώθηκε από 98.1% (Μηδενικό Σενάριο) σε 36.4% για το Σενάριο 3, ενώ μικρότερη αλλά σημαντική μείωση εντοπίστηκε στο Σενάριο 1 (72.6%) και στο Σενάριο 2 (53.0%).

Οι Samouei et al. (2020) μελέτησαν την αποτελεσματικότητα των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου αναφορικά με την ικανότητα μείωσης του όγκου και της αιχμής απορροής των όμβριων υδάτων και του μετριασμού του πλημμυρικού κινδύνου αστικών περιοχών. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η πανεπιστημιούπολη του Τεχνικού Πανεπιστημίου της Κωνσταντινούπολης, Τουρκία, με έκταση περίπου ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο. Παρατηρήθηκε μεγάλο ποσοστό αδιαπερατότητας στην πανεπιστημιούπολη (46%), μέσω χρήσης χαρτών εδαφικής κάλυψης στο λογισμικό Arc GIS. Η μοντελοποίηση της περιοχής μελέτης και η εφαρμογή των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό SWMM. Με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής, χαρτών κάλυψης γης και επιτόπιες παρατηρήσεις, εν τέλει, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 77 υπολεκάνες. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου: πράσινες στέγες, περατά οδοστρώματα και κήποι βροχής. Οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου μελετήθηκαν για τέσσερα διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης της αδιαπέρατης επιφάνειας της Πανεπιστημιούπολης. (5, 10, 15 και 20% αντίστοιχα). Επίσης, δόθηκε προτεραιότητα στην εγκατάσταση αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου σε περιοχές που αντιμετώπιζαν μεγαλύτερο βαθμό αδιαπερατότητας. Η υδρολογική απόκριση της λεκάνης απορροής διερευνήθηκε με προσομοιώσεις για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25 και 50 έτη, οι οποίες κατέδειξαν ότι με τη υλοποίηση των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου υπήρξε μεγάλη μείωση όχι μόνο στον όγκο αλλά και στην αιχμή της απορροής (από 2.74% μέχρι και 24.73%). Για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2 ετών, παρατηρήθηκε η μέγιστη μείωση κατά 24.73% της αιχμής απορροής για 20% αντικατάσταση της αδιαπέρατης επιφάνειας και μείωση 6.77% για 5% αντικατάσταση της αδιαπέρατης επιφάνειας. Όσο μεγαλύτερη αντικατάσταση αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου υπήρχε στην περιοχή μελέτης, τόσο μεγαλύτερη μείωση της απορροής παρουσιαζόταν στις προσομοιώσεις. Για προσομοιώσεις βροχοπτώσεων με μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, η αποτελεσματικότητα των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στον μετριασμό της απορροής μειώθηκε δραματικά, με μείωση της αιχμής απορροής από 24.73% στο 11.97% και μείωση του όγκου απορροής από



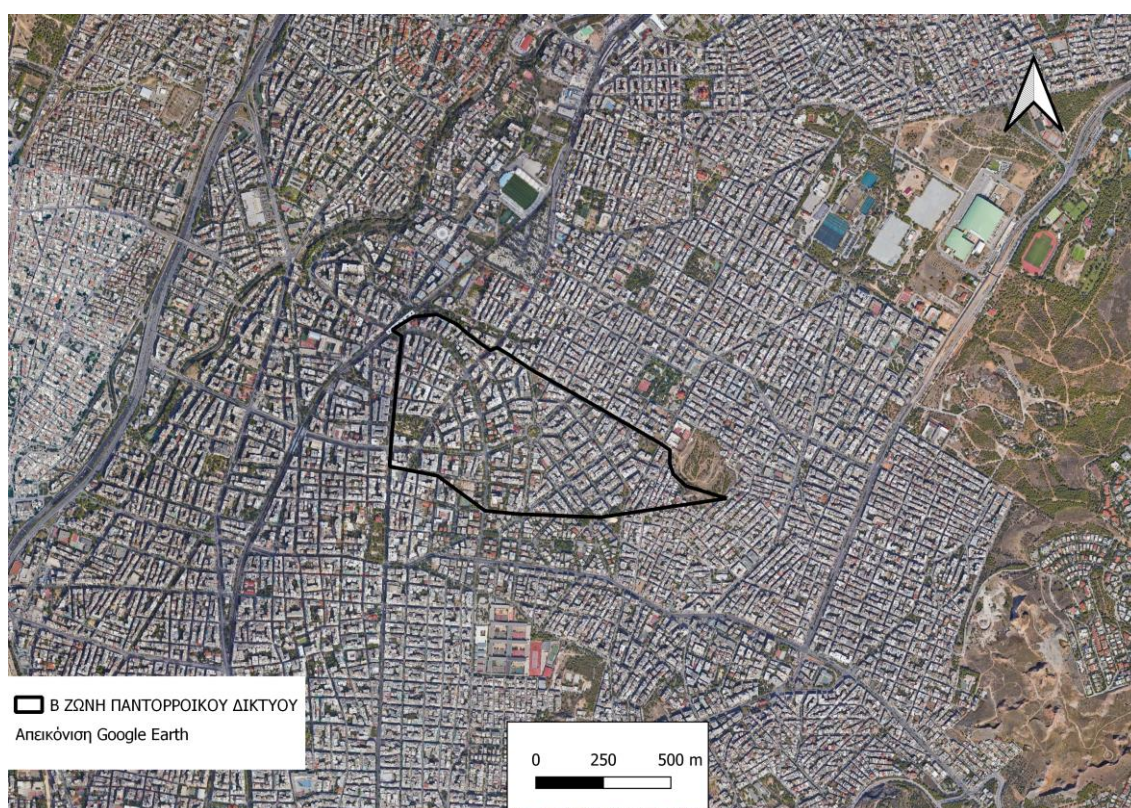
16.97% στο 9.32%, για επικάλυψη 20% αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου και βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2 και 50 έτη αντίστοιχα. Εκτός αυτού, για σφοδρές βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 25 και 50 ετών, υπήρξε μείωση (18% και 11% αντίστοιχα) των πλημμυρισμένων φρεατίων για 20% επικάλυψη αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων επιβεβαίωσαν τον μεγάλο αντίκτυπο των αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στον περιορισμό της απορροής ειδικά για βροχοπτώσεις μικρότερων περιόδων επαναφοράς.

Οι Zhang et al. (2021) μελέτησαν την επίδραση του τύπου και βάθους του υποστρώματος μιας πράσινης στέγης ως προς την ικανότητα μετριασμού της απορροής όμβριων υδάτων, μέσω μακροχρόνιας πειραματικής παρακολούθησης έξι συστημάτων πράσινης στέγης αλλά και υδρολογικής προσομοίωσης με τη χρήση του λογισμικού Hydrus-1D. Περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η ταράτσα του κτηρίου Δασοκομίας, στο Πανεπιστημίου Δασοκομίας του Πεκίνου, Κίνα. Εκεί εγκαταστάθηκαν την Άνοιξη του 2017, έξι πράσινες στέγες. Για την διερεύνηση της επίδρασης του υποστρώματος πράσινης στέγης στη μείωση της απορροής, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά βάρη υποστρώματος (10 και 15cm) και τρεις τύποι υποστρώματος. Η λειτουργία των πράσινων στεγών παρακολουθήθηκε συνεχώς από το 2017 μέχρι το 2019, όπου καταγράφηκαν συνολικά 92 βροχοπτώσεις, εκ των οποίων στις 37 παρατηρήθηκε ύψος βροχής μεγαλύτερο των 10mm. Ακόμη, για την διερεύνηση της απόδοσης των πράσινων στεγών, κατά τη διάρκεια ακραίων καταιγίδων περιόδου επαναφοράς 3, 5, 10, 20 και 50 ετών, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις μέσω του λογισμικού Hydrus-1D. Για τις 24-ωρες καταιγίδες σχεδιασμού, υιοθετήθηκε το μοτίβο 24-ωρης βροχής μεθόδου έντασης- βροχόπτωσης “Standard of rainstorm runoff calculation for urban storm drainage system planning and design” (DB11/T 969–2016) για την εύρεση της όμβριας καμπύλης της μορφής  $i = \frac{1602 * (1 + 0.893 \lg T)}{(t + 11.593)^{0.681}}$ , ενώ η μέθοδος “Chicago Design Storm” χρησιμοποιήθηκε για την κατάρτιση των υετογραφημάτων. Για το σύνολο των 92 βροχοπτώσεων, η ποσοστιαία μείωση της απορροής κυμάνθηκε μεταξύ 81 μέχρι 87%, ανεξάρτητα από τον τύπο του υποστρώματος. Αναλύοντας μόνο τις βροχοπτώσεις ύψους τουλάχιστον 10mm, το ποσοστό μείωσης της απορροής μεταβλήθηκε σε 73%, 72% και 58% για το τοπικό, κατασκευασμένο και ελαφρύ έδαφος αντίστοιχα. Με τη χρήση προσομοιώσεων του Hydrus-1D, έγινε εμφανές πως το ποσοστό μετριασμού απορροής και οι ρυθμοί εξασθένησης της αιχμής απορροής μειώθηκαν εκθετικά κατά τη διάρκεια ακραίων καταιγίδων. Οι πράσινες στέγες με βάθος υποστρώματος 15cm, παρουσίασαν καλύτερη κατακράτηση όμβριων υδάτων από αυτές με βάθος 10cm. Λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τις 37 βροχοπτώσεις ύψους τουλάχιστον 10mm, για τις πράσινες στέγες με κατασκευασμένο έδαφος, καταγράφηκε 79% κατακράτηση για βάθος υποστρώματος 15cm και 73% για βάθος 10cm. Ακόμη, με την προσομοίωση καταιγίδων περιόδου επαναφοράς 3 ετών, έγινε αντιληπτό ότι το ποσοστό κατακράτησης απορροής αυξάνεται με το βάθος του υποστρώματος, αλλά υπάρχει μία κρίσιμη τιμή βάθους για κάθε είδος υποστρώματος, πάνω από την οποία δεν υπήρχε μεγάλη βελτίωση. Η κατακράτηση όμβριων υδάτων για τις πράσινες στέγες με ελαφρύ έδαφος εκτινάχθηκε από 10% σε 81% με την αύξηση του βάθους υποστρώματος από 100mm σε 1000mm, ενώ για το κατασκευασμένο και το τοπικό έδαφος, η κατακράτηση απορροής αυξήθηκε μέχρι και στο 90% για βάθος υποστρώματος 600mm.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 3.1 Πληροφορίες για την περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε ως η Ζώνη Β του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών. Τα όρια της λεκάνης φαίνονται, μέσω του Google Earth, στην Εικόνα 3.1 και καλύπτει περίπου έκταση 0.50 km<sup>2</sup>. Το μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής μελέτης βρίσκεται εντός του Δήμου Αθηναίων, ενώ ένα αρκετά μικρότερο κομμάτι εντάσσεται στο Δήμο Γαλασίου.



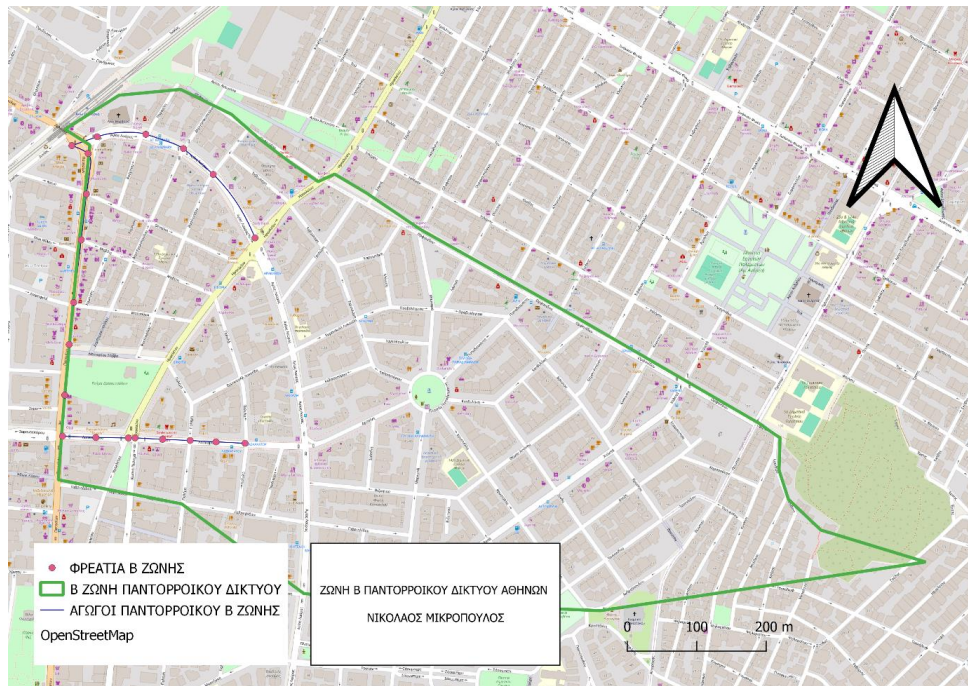
**Εικόνα 3.1: Δορυφορική απεικόνιση Ζώνης Β Παντοροϊκού Δικτύου Αθηνών**

### 3.2 Ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης

Τα δεδομένα που αφορούν τις υπολεκάνες, τα φρεάτια και τους αγωγούς δόθηκαν ήδη ψηφιοποιημένα στο λογισμικό QGIS, από το εργαστήριο «Εγχειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείριση Υδατικών Πόρων». Επιπλέον, δόθηκαν και οι πληροφορίες που αφορούν τις ονομασίες, τις γεωγραφικές θέσεις των φρεατίων και των αγωγών, ενώ παράλληλα έγιναν γνωστές οι παράμετροι που αφορούν τις υπολεκάνες, τη διάμετρο των αγωγών και τα

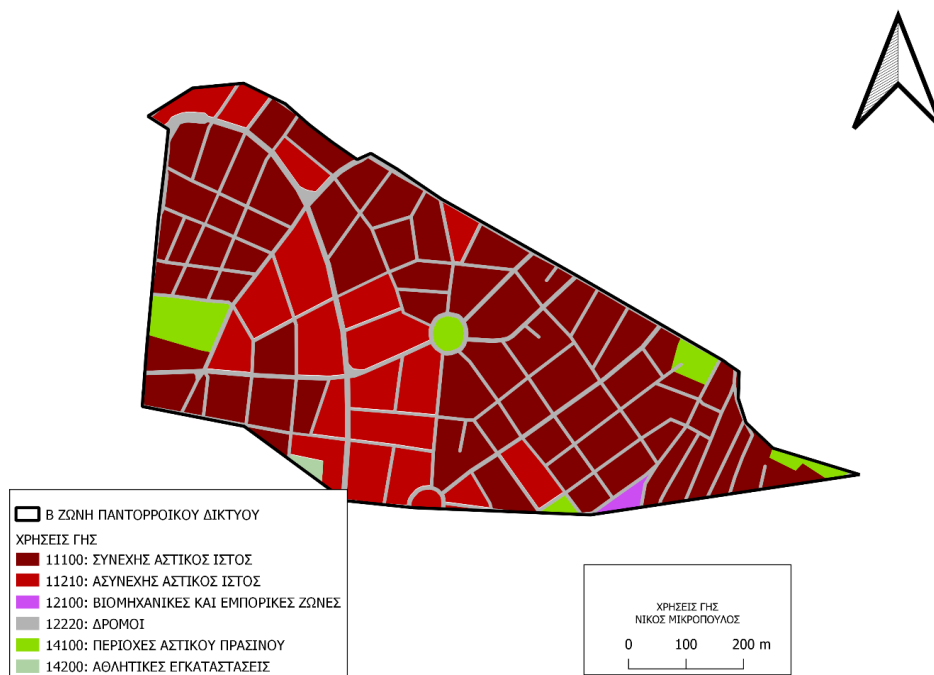


υψόμετρα των φρεατίων. Στην Εικόνα 3.2 απεικονίζονται τα 19 φρεάτια, οι 19 αγωγοί και τα όρια της υπολεκάνης όπως δόθηκαν από το εργαστήριο.



**Εικόνα 3.2: Απεικόνιση των ορίων λεκάνης απορροής και του αποχετευτικού δικτύου**

Οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης βρέθηκαν με την χρήση του λογισμικού QGIS και του αρχείο δεδομένων Urban Atlas Land Cover/Land Use 2012, με την Εικόνα 3.3 να δείχνει πως η Ζώνη Β αποτελείται κυρίως από συνεχή (62%) και ασυνεχή (23%) αστικό ιστό. Υπάρχουν ελάχιστες επιφάνειες πρασίνου και βιομηχανίες, με κάποιες σκόρπιες αθλητικές εγκαταστάσεις στα σύνορα της.



**Εικόνα 3.3: Χρήσεις Γης στην Ζώνη Β Παντοροϊκού δικτύου Αθηνών**

### 3.3 Διαδικασία σχεδιασμού για τις υπολεκάνες

Σύμφωνα με τον Τσακίρη (2010), ως λεκάνη απορροής ορίζεται ως «ολόκληρη η επιφάνεια από την οποία το νερό αποχετεύεται πλήρως σε μια θεωρούμενη διατομή». Μια λεκάνη απορροής μπορεί να ορίζεται περιμετρικά από οδοστρώματα, πρασιές, σπίτια, οικοδομικά τετράγωνα.

Σε μια αστική περιοχή, όπως στην περίπτωση μας, για την χάραξη των ορίων της κάθε υπολεκάνης, δηλαδή του υδροκρίτη, πρέπει να ληφθεί υπόψιν εκτός της τοπογραφία της περιοχής, και το ρυμοτομικό σχέδιο της πόλης. Αρχικά, χαράσσονται οι διχοτόμοι για τις γωνίες των οικοδομικών τετραγώνων, που ονομάζονται υδροκριτικές γραμμές (Κουτσογιάννης, 2011).

Για να βρεθεί το συγκεκριμένο φρεάτιο στο οποίο κάθε εσωτερικό σημείο ενός οικοδομικού τετραγώνου αποχετεύει τα όμβρια, χρειάζεται να γνωρίζουμε την ροή του νερού, που ακολουθεί την κλίση του εδάφους και ότι κάθε οικοδομικό τετράγωνο αποχετεύεται στο πλησιέστερο ρεΐθρο της πλησιέστερης οδού.

Αρχικά, μεταφέρθηκαν τα αρχεία που εμπεριέχουν τις ψηφιοποιημένες πληροφορίες των οικοδομικών τετραγώνων, των φρεατίων και των αγωγών από το λογισμικό QGIS στην αντίστοιχη επιφάνεια εργασίας στο λογισμικό Autocad, όπου είναι αρκετά πιο εύκολη η χάραξη διχοτόμων για τα οικοδομικά τετράγωνα της περιοχής μελέτης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την χάραξη των υδροκριτικών γραμμών έγινε με ιδιαίτερη προσοχή στο λογισμικό Autocad, και ένα απόσπασμα των εργασιών φαίνεται στην Εικόνα 3.4.

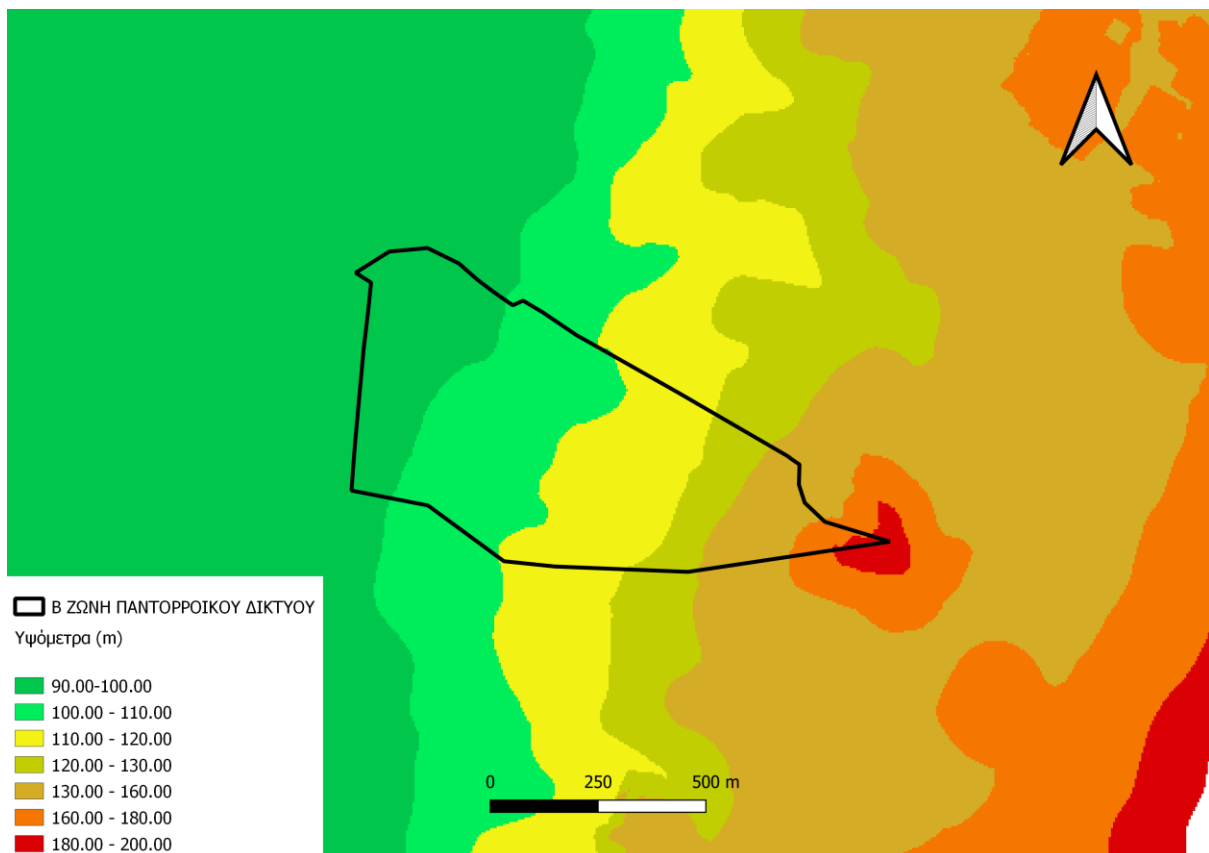


**Εικόνα 3.4: Υδροκριτικές γραμμές οικοδομικών τετραγώνων**

Αφού υπολογίστηκαν και σχεδιάστηκαν οι υδροκριτικές γραμμές για όλα τα οικοδομικά τετράγωνα, κρίθηκε αναγκαία και η εύρεση της τοπογραφία της περιοχής μελέτης με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.).

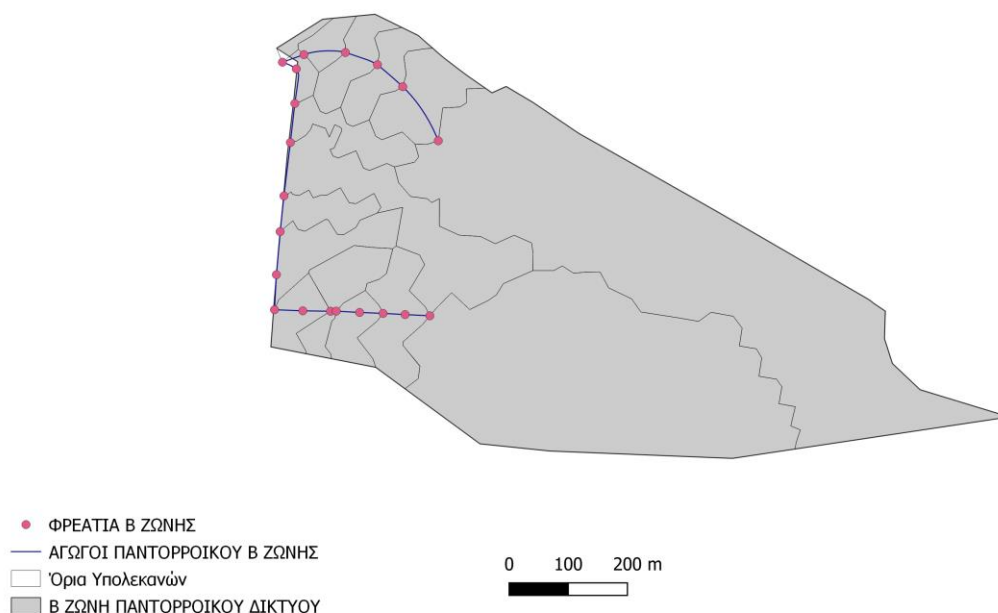
Στο Ψ.Μ.Ε. , το ελάχιστο υψόμετρο παρουσιάστηκε στον Δήμο Αθηναίων στα 90 μέτρα ενώ όσο πλησιάζουμε προς τα ανατολικά όρια της περιοχής μελέτης, και ειδικότερα προς τον Δήμο Γαλατσίου, παρατηρήθηκε πύκνωση του υψομετρικού αναγλύφου, φτάνοντας μέχρι και τα 200 μέτρα υψόμετρο.

Στην Εικόνα 3.5 απεικονίζεται το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Ζώνης Β του Παντοροϊκού δικτύου Αθηνών.



**Εικόνα 3.5: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους**

Τέλος, αξιοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα, τις υδροκριτικές γραμμές και το Ψ.Μ.Ε., έγινε η ομαδοποίηση και η ψηφιοποίηση των 16 υπολεκανών της περιοχής μελέτης με βάση τα φρεάτια αποχέτευσης, με το αποτέλεσμα της διαδικασίας να απεικονίζεται στην Εικόνα 3.6.



**Εικόνα 3.6: Υπολεκάνες Ζώνης Β**

### 3.4 Εισαγωγή Δεδομένων στο SWMM

Επόμενο στάδιο της διπλωματικής ήταν η εισαγωγή των δεδομένων από το QGIS στο λογισμικό SWMM, με σκοπό την προσομοίωση του αποχετευτικού συστήματος σε ελεγχόμενες συνθήκες και βροχοπτώσεις. Αρχικά, το SWMM, απαιτεί να ορίσει ο χρήστης διάφορες παραμέτρους που αφορούν τις υπολεκάνες, τα φρεάτια και τους αγωγούς.

#### 3.4.1 Υπολεκάνες

Στον Πίνακα 3.1 αναγράφονται οι ονομασίες, οι εκτάσεις, τα ποσοστά αδιαπερατότητας, τα πλάτη και οι κλίσεις όλων των υπολεκανών.

**Πίνακας 3.1: Οι παράμετροι των 16 υπολεκανών της περιοχής μελέτης**

Υπολεκάνη	Εκταση (m <sup>2</sup> )	Αδιαπερατότητα (%)	Πλάτος (m)	Κλίση (%)
S1	1,600	77	72	2.78
S2	4,700	62	52	2.72

Υπολεκάνη	Εκταση (m <sup>2</sup> )	Αδιαπερατότητα (%)	Πλάτος (m)	Κλίση (%)
S3	9,700	82	116	2.64
S4	10,000	88	166	2.14
S5	16,700	90	147	2.33
S6	2,500	90	67	3.19
S7	11,100	90	51	2.35
S8	40,700	86	84	3.24
S9	8,200	90	51	2.67
S10	13,500	48	89	2.59
S11	7,400	89	82	2.38
S12	11,900	55	135	2.69
S13	7,300	90	121	3.37
S14	15,600	86	177	3.86
S15	19,500	86	189	4.43
S16	15,200	86	200	4.12

Εκτός των παραπάνω παραμέτρων που διαφέρουν για κάθε υπολεκάνη, χρησιμοποιήθηκαν και οι παρακάτω παράμετροι που παρέμειναν σταθερές σε όλες τις υπολεκάνες και απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.2.

**Πίνακας 3.2: Οι υπόλοιπες παράμετροι για κάθε υπολεκάνη**

Υπολεκάνη	Επιφανειακή συγκράτηση Αδιαπέρατου τμήματος (mm)	Επιφανειακή συγκράτηση Περαιτού τμήματος (mm)	Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση (%)	Αριθμός Καμπύλης CN	Συντελεστής Manning Περαιτό τμήμα	Συντελεστής Manning Αδιαπέρατο τμήμα
S1	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S2	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S3	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S4	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S5	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S6	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S7	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S8	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S9	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S10	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S11	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
S12	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015

<b>S13</b>	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
<b>S14</b>	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
<b>S15</b>	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015
<b>S16</b>	2.5	6.5	25	95	0.24	0.015

### 3.4.2 Αγωγοί

Στον Πίνακα 3.3 απεικονίζονται οι παράμετροι των αγωγών στην περιοχή μελέτης και πιο συγκεκριμένα, η ονομασία, το φρεάτιο εισόδου-εξόδου, το μήκος, η διατομή, το μέγιστο βάθος και ο συντελεστής Manning που επιλέχθηκε για κάθε αγωγό.

**Πίνακας 3.3: Οι παράμετροι των 19 αγωγών του αποχετευτικού συστήματος**

Αγωγός	Φρεάτιο Εισόδου	Φρεάτιο εξόδου	Μήκος (m)	Διατομή	Μέγιστο Βάθος (m)	Συντελεστής Manning
<b>11639169</b>	KAA-88	KAA-87	58.330	Ωοειδής	1.50	0.013
<b>3797173</b>	KAA-89α	KAA-89	112.800	Ωοειδής	1.50	0.013
<b>4064925</b>	A-42	B-42α	42.369	Ωοειδής	0.90	0.013
<b>4064949</b>	B-42α	A-41	37.860	Ωοειδής	0.90	0.013
<b>4064973</b>	A-41	A-41α	40.099	Ωοειδής	0.90	0.013
<b>4065045</b>	A-40α	A-39	45.819	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>4065069</b>	A-39	A-38	47.409	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>4065924</b>	A-38	A-37α	56.049	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>4066010</b>	A-36	A-35	91.000	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>5705461</b>	A-35	A-34	66.500	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>5705571</b>	A-34	A-34α	59.400	Ωοειδής	1.20	0.013
<b>5705697</b>	A-34α	KAA-85 ΕΚΧΛ	25.549	Ωοειδής	1.20	0.013
<b>5705778</b>	KAA-86	KAA-85 ΕΚΧΛ	38.599	Ωοειδής	1.50	0.013
<b>5706521</b>	KAA-89	KAA-88	58.849	Ωοειδής	1.50	0.013
<b>5706620</b>	KAA-87	KAA-86	132.000	Ωοειδής	1.50	0.013
<b>c1</b>	A-37α	B-37	70.199	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>c2</b>	B-37	A-36	58.200	Ωοειδής	1.05	0.013
<b>c3</b>	KAA-85 ΕΚΧΛ.	out1	50.000	Ωοειδής	1.95	0.013
<b>c4</b>	A-41α	A-40α	49.328	Ωοειδής	0.90	0.013

### 3.4.3 Φρεάτια

Στον Πίνακα 3.4 απεικονίζονται οι παράμετροι που εισάχθηκαν στο λογισμικό SWMM και αφορούν τα φρεάτια του αποχετευτικού συστήματος, όπως η ονομασία, το υψόμετρο πυθμένα και το υψόμετρο στέψης.



**Πίνακας 3.4: Παράμετροι φρεατίων στο λογισμικό SWMM**

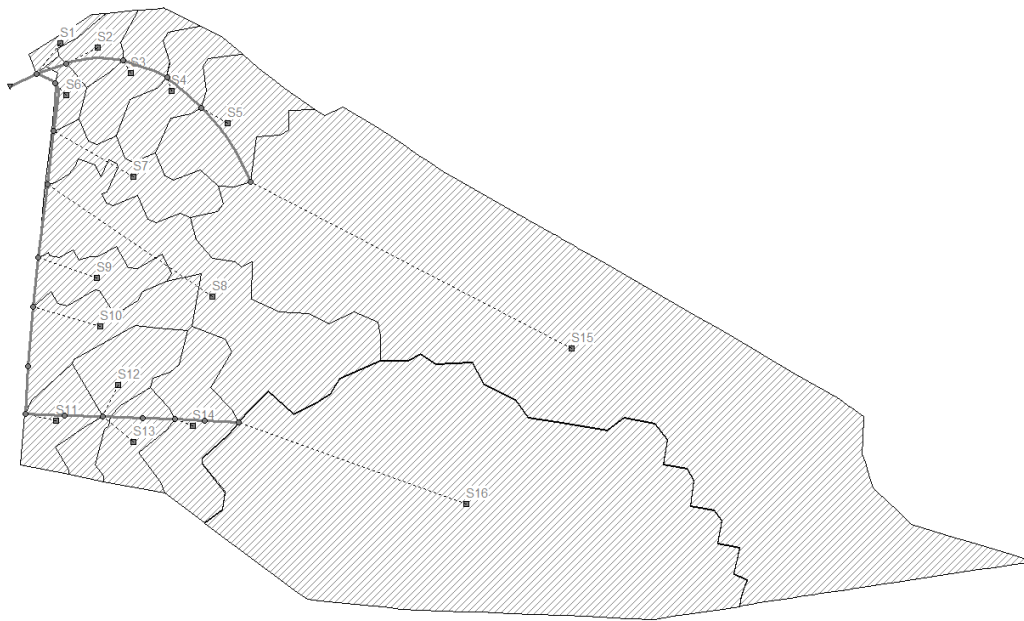
<b>Φρεάτιο</b>	<b>Υψόμετρο Πυθμένα (m)</b>	<b>Υψόμετρο Στέψης (m)</b>
A-39	92.075	95.594
A-38	91.274	95.524
ΚΑΑ-89α	94.330	98.279
A-41	94.085	98.465
ΚΑΑ-85 ΕΚΧΛ	86.650	91.500
ΚΑΑ-87	90.243	92.993
A-42	96.185	99.954
ΚΑΑ-88	90.590	91.691
A-34α	86.830	90.179
ΚΑΑ-86	87.669	91.419
ΚΑΑ-89	91.660	95.810
A-41α	93.376	97.506
A-37α	90.695	95.144
B-42α	95.444	100.323
A-35	88.308	92.678
A-40α	92.794	96.943
A-36	89.254	93.784
A-34α	87.510	91.959
B-37	89.876	94.545

#### 3.4.4 Προσομοίωση

Εκτός αυτών, ο χρήστης πρέπει να ορίσει και τις παραμέτρους της προσομοίωσης. Σαν μέθοδο διόδευσης (Routing Model) επιλέχθηκε αυτή του Δυναμικού Κύματος και σαν μέθοδος διήθησης επιλέχθηκε η μέθοδος της SCS-Curve Number.

Το χρονικό βήμα αναφοράς αποτελεσμάτων (Reporting Step) ήταν 1 λεπτό, το χρονικό βήμα ξηρού καιρού επιλέχθηκε 1 ώρα, το χρονικό βήμα υγρού καιρού ήταν 1 δευτερόλεπτο ενώ το χρονικό βήμα μεταφοράς της απορροής επιλέχθηκε 0.1 δευτερόλεπτα.

Εν τέλει, η ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης στο λογισμικό SWMM, πήρε την μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 3.7.



**Εικόνα 3.7: Απεικόνιση στο SWMM της περιοχής μελέτης**

### 3.5 Υετογραφήματα

Για την δημιουργία των προσομοιώσεων βροχοπτώσεων στο SWMM, είναι αναγκαίο να δώσει ο χρήστης βροχομετρικά στοιχεία στο πρόγραμμα. Αυτά τα δεδομένα, είναι με τη μορφή υετογραφήματος. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, αναλύεται αμέσως παρακάτω.

Για τα υετογραφήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή, έπρεπε πρώτα να καταλήξουμε στην εξίσωση για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών, που είναι η παρακάτω:

$$i(t,T)=\lambda' * \frac{T^{\kappa}-\psi'}{\left(1+\frac{t}{\vartheta}\right)^{\eta}} \quad (3.1)$$

όπου  $i$  η ένταση της βροχόπτωσης σε mm/h

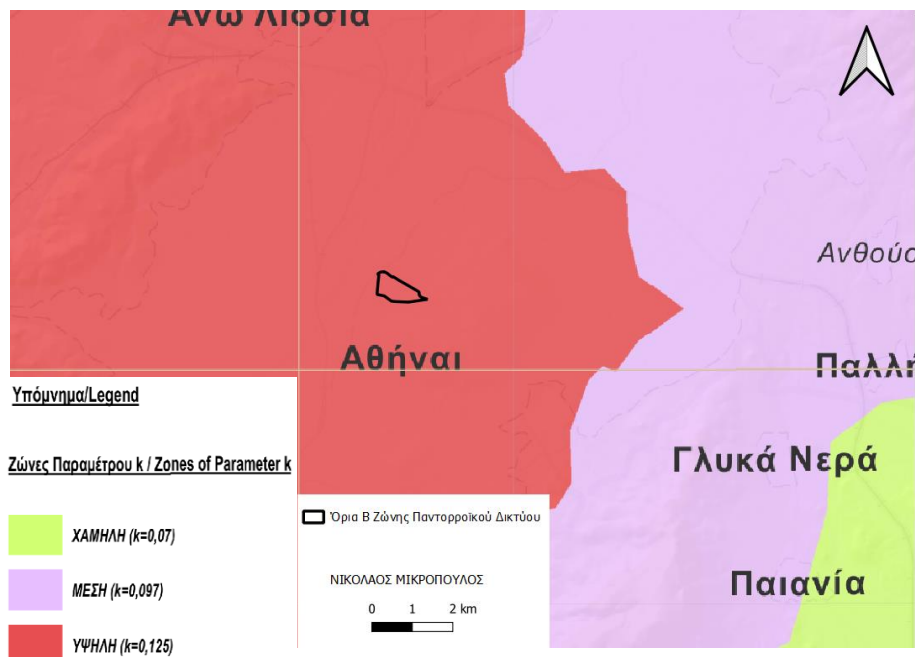
$t$  η διάρκεια της βροχής σε h

$T$  η περίοδος επαναφοράς σε έτη

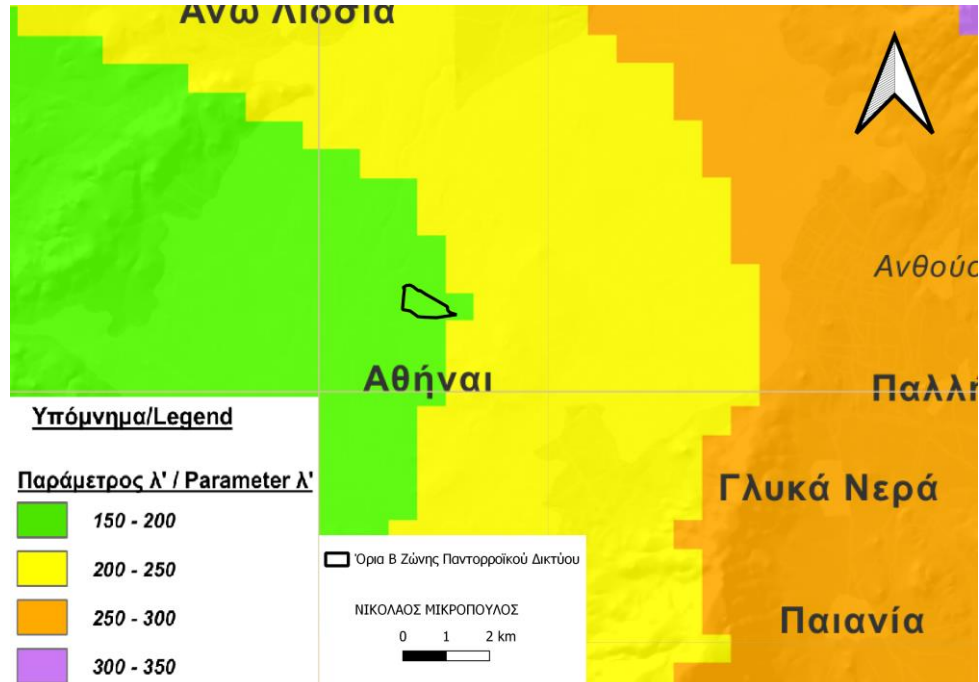
$\kappa, \lambda', \psi', \eta$  και  $\vartheta$  οι παράμετροι της όμβριας καμπύλης.

Για τον υπολογισμό των αντιπροσωπευτικών τιμών των παραπάνω παραμέτρων, αρχικά, εντοπίστηκαν οι χάρτες χωρικής μεταβλητότητας των παραμέτρων  $\kappa, \lambda', \psi'$  σε μορφή «pdf» (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015), που είχαν καταρτισθεί στο πλαίσιο διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας λεκανών απορροής. Οι χάρτες αυτοί μετατράπηκαν σε μορφή «tiff» και με αυτό τον τρόπο αξιοποιήθηκαν στο λογισμικό QGIS. Πραγματοποιήθηκε εκ νέου γεωαναφορά των χαρτών στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87, και έχοντας ψηφιοποιήσει τα όρια της υπολεκάνης

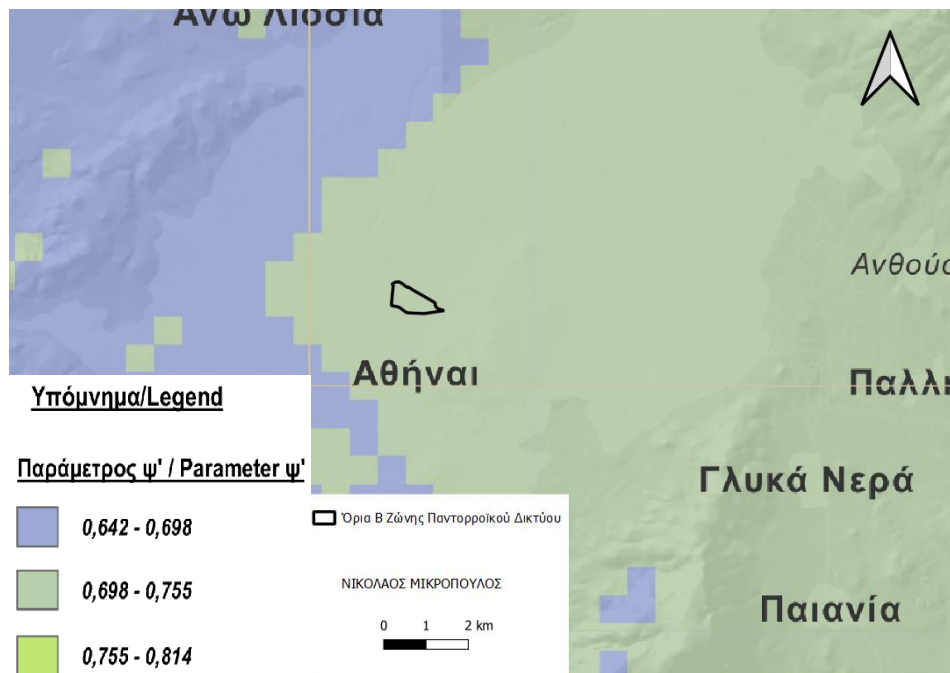
στο ίδιο σύστημα αναφοράς, υπολογίστηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των παραμέτρων. Στις Εικόνες 3.8, 3.9 και 3.10 απεικονίζεται η θέση της υπολεκάνης σε σχέση με τις παραμέτρους των μεταβλητών  $\kappa$ ,  $\lambda'$ ,  $\psi'$  για κάθε χωρική ζώνη.



Εικόνα 3.8: Αντιπροσωπευτικές τιμές παραμέτρου  $\kappa$



Εικόνα 3.9: Αντιπροσωπευτικές τιμές παραμέτρου  $\lambda'$



**Εικόνα 3.10: Αντιπροσωπευτικές τιμές παραμέτρου  $\psi'$**

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των παραμέτρων  $\eta$ ,  $\vartheta$  της όμβριας καμπύλης είναι σταθερές για όλες τις περιοχές της Αττικής:  $\eta=0.622$  και  $\vartheta=0.124$ .

Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους, με βάση τις παραπάνω εικόνες, οι τιμές τους για την περιοχή μελέτης επιλέχθηκαν οι εξής:  $\kappa=0.125$ ,  $\lambda'=175$  και  $\psi'=0.7265$ . Για τις παραμέτρους  $\psi'$  και  $\lambda'$  όπου υπήρχε ένα εύρος αντιπροσωπευτικών τιμών, επιλέχθηκε μια μέση τιμή.

Με βάση τα νέα δεδομένα, η αρχική εξίσωση της όμβριας καμπύλης, πήρε την παρακάτω μορφή.

$$i(t,T)=175* \frac{T^{0.125}-0.7265}{\left(1+\frac{t}{0.124}\right)^{0.622}} \quad (3.2)$$

### 3.6 Εφαρμογή Αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου

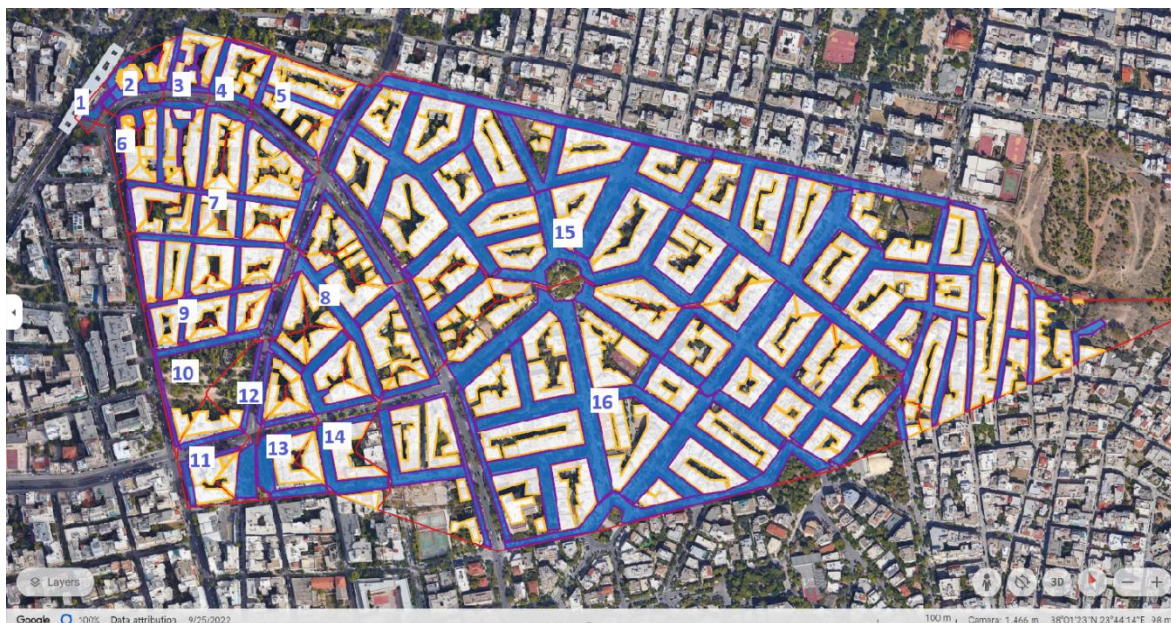
Για την εφαρμογή των αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης, χρειάστηκε να βρεθούν οι πιθανές θέσεις πράσινων στεγών και τα περατών οδοστρωμάτων.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση των κατάλληλων θέσεων είναι το Google Earth. Εκεί, αφού εισάχθηκαν σε μορφή «kml» τα όρια της κάθε υπολεκάνης απορροής από το QGIS στο ψηφιακό υπόβαθρο του Google Earth, μετρήθηκαν με τα εργαλεία του Google Earth, οι εκτάσεις των επιφανειών που μας ενδιαφέρουν.

Για τις πράσινες στέγες μετρήθηκαν οι εκτάσεις και ο αριθμός όλων των κανονικών στεγών στις 16 υπολεκάνες, ενώ για τα περατά οδοστρώματα μετρήθηκαν οι εκτάσεις και ο αριθμός των πεζοδρομίων, των θέσεων πάρκινγκ, των περιοχών από τσιμέντο και των δευτερευόντων δρόμων. Η συνολική έκταση των στεγών που μπορούν να αντικατασταθούν με πράσινες στέγες στην περιοχή μελέτης εκτιμήθηκε στα 182,205 m<sup>2</sup>, ενώ για τα περατά οδοστρώματα στα 159,392 m<sup>2</sup>.

Επίσης, με τη χρήση υπολογιστικών φύλλων Excel, υπολογίστηκε για κάθε υπολεκάνη η μέση έκταση για τις στέγες και τα οδοστρώματα, όπως και το μέσο πλάτος, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αργότερα κατά την διαστασιολόγηση των Σεναρίων στο λογισμικό SWMM.

Στην Εικόνα 3.11 απεικονίζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο Google Earth, με άσπρο χρώμα φαίνονται οι ταράτσες και με μπλε χρώμα τα οδοστρώματα που μπορούν να αντικατασταθούν.



**Εικόνα 3.11: Απεικόνιση στο Google Earth πιθανών θέσεων πράσινων στεγών και των περατών οδοστρωμάτων**

### 3.7 Παράμετροι των αειφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου

Στην περιοχή μελέτης διαστασιολογήθηκαν πράσινες στέγες και περατά οδοστρώματα. Για την προσομοίωση τους στο SWMM, χρειάζεται ο χρήστης να ορίσει ορισμένες παραμέτρους.

Οι παράμετροι αυτοί εισήχθησαν με βάση προηγούμενη βιβλιογραφία και εργασίες των Kourtis et. al. (2018), του Μπούκα (2019) και του Rossman (2015), με τον τελευταίο να έχει ορίσει ένα τυπικό εύρος τιμών που παίρνουν οι παράμετροι για πράσινες στέγες (Πίνακας 3.5) και τα περατά οδοστρώματα (Πίνακας 3.6).

**Πίνακας 3.5: Τυπικές παράμετροι για πράσινες στέγες στο λογισμικό SWMM (Rossman, 2015)**

Παράμετρος	Εύρος
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο	0.8-1.0
Πάχος εδάφους, mm	50-150
Παράμετροι εδάφους:	
Πορώδες	0.45-0.6
Χωρητικότητα	0.3-0.5
Σημείο μαρασμού	0.05-0.2
Διαθέσιμο νερό για βλάστηση	0.25-0.3
Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, mm/hr	1,000-3,556
Κεφαλή Αναρρόφησης, mm	50-100
Παράμετρος διήθησης	30-55
Πάχος στρώματος αποστράγγισης, mm	12-50
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο για στρώμα αποστράγγισης	0.2-0.4
Συντελεστής τραχύτητας	0.01-0.03

**Πίνακας 3.6: Τυπικές τιμές παραμέτρων για περατά οδοστρώματα στο λογισμικό SWMM (Rossman, 2015)**

Παράμετρος	Εύρος
Επιφανειακή συγκράτηση, mm	0-2.54
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο για επιφανειακό στρώμα	1
Πάχος οδοστρώματος, mm	76-203
Συνεχές οδόστρωμα	
Πορώδες	0.15-0.25
Διαπερατότητα, mm/hr	711-44,450
Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, mm/hr	127-762
Κεφαλή αναρρόφησης, mm	50-100
Παράμετρος διήθησης	30-55
Πάχος στρώματος αποθήκευσης, mm	152-915
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο για στρώμα αποθήκευσης	0.2-0.4



Με βάση όλων των παραπάνω, εν τέλει, οι παράμετροι για τις αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7.

**Πίνακας 3.7: Παράμετροι για Πράσινες Στέγες και Περατά Οδοστρώματα στο SWMM**

	ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ	ΠΕΡΑΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ
<b>Επιφάνεια</b>		
Βάθος Αποθήκευσης (mm)	100	0
Όγκος Βλάστησης	0.2	0
Συντελεστής Τραχύτητας	0.25	0.015
Κλίση εδάφους (%)	1	1
<b>Έδαφος</b>		
Πάχος (mm)	200	0
Πορώδες	0.5	0.5
Χωρητικότητα	0.4	0.2
Σημείο Ξήρανσης	0.1	0.1
Αγωγιμότητα (mm/hr)	1000	0.5
Κλίση Αγωγιμότητας	10	10
Κεφαλή αναρρόφησης	50	3.5
<b>Χώρος Αποστράγγισης</b>		
Πάχος (mm)	100	
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο	0.3	
Συντελεστής τραχύτητας	0.015	
<b>Χώρος Αποθήκευσης</b>		
Πάχος (mm)		450
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο		0.3
Ρυθμός Διαρροής (mm/hr)		750
Συντελεστής Απόφραξης		0
<b>Αποχέτευση</b>		
Συντελεστής Ροής		0.5
Εκθέτης Ροής		0.5
Αντιστάθμιση		100
<b>Οδόστρωμα</b>		
Πάχος (mm)		200
Αναλογία κενού όγκου ως προς συνολικό όγκο		0.15
Αδιαπέρατη Επιφάνεια		0
Διαπερατότητα (mm/hr)		500
Συντελεστής Απόφραξης		0

Για κάθε μια υπολεκάνη της περιοχής μελέτης, χρειάστηκε να εισάγουμε και ειδικές παραμέτρους που διαφέρουν σε κάθε υπολεκάνη. Τα στοιχεία που πρέπει να συμπληρώσει ο χρήστης στο λογισμικό SWMM για κάθε μία υπολεκάνη που διαθέτει αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου είναι οι εξής:

**Όνομα Αιεφόρας Πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου:** Ο χρήστης επιλέγει την αιεφόρα πρακτική διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που έχει ήδη ορίσει στο προηγούμενο βήμα, όπως οι πράσινες στέγες ή περατά οδοστρώματα κ.ο.κ.

**Έκταση της κάθε μονάδας:** Η παράμετρος υπολογίστηκε μέσω του Google Earth και των υπολογιστικών φύλλων Excel, και είναι η μέση έκταση της μονάδας αιεφόρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στην συγκεκριμένη υπολεκάνη.

**Αριθμός μονάδων:** Είναι ο αριθμός των μονάδων αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου που θα προσομοιωθούν στην υπολεκάνη.

**Πλάτος της κάθε μονάδας:** Η παράμετρος υπολογίζεται μέσω Google Earth και των υπολογιστικών φύλλων Excel, και αφορά το μέσο πλάτος της μονάδας αιεφόρας πρακτικής διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στην συγκεκριμένη υπολεκάνη.

**% Αδιαπέρατης Επιφάνειας που θα αντικατασταθεί (%Αδιαπ.):** Πρόκειται για το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας της υπολεκάνης που θα μετατραπεί σε αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται ως εξής:

$$\%Αδιαπ.=\frac{Έκταση\ της\ κάθε\ μονάδας\ * \ Αριθμός\ μονάδων}{Έκταση\ υπολεκάνης*\ Ποσοστό\ Αδιαπερατότητας} \quad (4.3)$$

Στους Πίνακες 3.8, 3.9, 3.10 και 3.11 αναγράφονται οι παράμετροι που εισάχθηκαν στο λογισμικό SWMM για κάθε μία υπολεκάνη στα Σενάρια 1,2 και 3 αντίστοιχα.

**Πίνακας 3.8: Παράμετροι αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (πράσινες στέγες) για Σενάριο 1**

Υπολεκάνη	Μέση Έκταση (m <sup>2</sup> )	Αριθμός (N)	Πλάτος (m)	%Αδιαπέρατης επιφάνειας που αντικαταστάθηκε (%)
S1	55.60	1	4.77	5
S2	229.53	1	15.68	8
S3	171.70	1	20.11	2
S4	508.88	1	39.25	6
S5	378.86	1	31.00	3
S6	808.79	1	68.00	36
S7	495.87	1	29.18	5
S8	533.94	26	25.63	40
S9	520.36	7	25.71	49



S10	305.38	7	22.86	33
S11	926.26	3	29.00	42
S12	428.78	3	18.00	20
S13	1105.90	2	34.00	34
S14	914.02	6	23.14	41
S15	1220.83	1	25.00	1
S16	1517.96	34	22.00	39

**Πίνακας 3.9: Παράμετροι αιιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (περατά οδοστρώματα) για Σενάριο 2**

Υπολεκάνη	Μέση Έκταση (m <sup>2</sup> )	Αριθμός (N)	Πλάτος (m)	%Αδιαπέρατης επιφάνειας που αντικαταστάθηκε (%)
S1	643.69	1	88.00	52
S2	242.78	1	23.40	8
S3	392.21	1	47.86	5
S4	739.12	1	70.67	8
S5	484.57	1	73.33	3
S6	209.75	1	72.00	9
S7	558.95	3	85.25	17
S8	840.66	11	90.36	26
S9	402.40	4	70.50	22
S10	819.72	4	93.50	51
S11	850.63	2	73.50	26
S12	867.21	4	75.75	53
S13	1081.17	3	76.00	49
S14	2738.31	2	77.50	41
S15	4281.21	3	95.00	8
S16	4997.68	11	90.00	42

**Πίνακας 3.10: Παράμετροι αιιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (πράσινες στέγες) για Σενάριο 3**

Υπολεκάνη	Μέση Έκταση (m <sup>2</sup> )	Αριθμός (N)	Πλάτος (m)	%Αδιαπέρατης επιφάνειας που αντικαταστάθηκε (%)
S1	55.60	1	4.77	5
S2	229.53	1	15.68	8
S3	171.70	1	20.11	2
S4	508.88	1	39.25	6
S5	378.86	1	31.00	3
S6	808.79	1	68.00	36

Υπολεκάνη	Μέση Έκταση (m <sup>2</sup> )	Αριθμός (N)	Πλάτος (m)	%Αδιαπέρατης επιφάνειας που αντικαταστάθηκε (%)
S7	495.87	1	29.18	5
S8	533.94	6	25.63	9
S9	520.36	1	25.71	7
S10	305.38	1	22.86	5
S11	926.26	1	29.00	14
S12	428.78	1	18.00	7
S13	1105.90	1	34.00	17
S14	914.02	1	23.14	7
S15	1220.83	1	25.00	1
S16	1517.96	7	22.00	8

**Πίνακας 3.11: Παράμετροι αιιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (περατά οδοστρώματα) για Σενάριο 3**

Υπολεκάνη	Μέση Έκταση (m <sup>2</sup> )	Αριθμός (N)	Πλάτος (m)	%Αδιαπέρατης επιφάνειας που αντικαταστάθηκε (%)
S1	643.69	1	88.00	52
S2	242.78	1	23.40	8
S3	392.21	1	47.86	5
S4	739.12	1	70.67	8
S5	484.57	1	73.33	3
S6	209.75	1	72.00	9
S7	558.95	1	85.25	6
S8	840.66	9	90.36	22
S9	402.40	3	70.50	16
S10	819.72	3	93.50	38
S11	850.63	2	73.50	26
S12	867.21	3	75.75	40
S13	1081.17	2	76.00	33
S14	2738.31	2	77.50	41
S15	4281.21	1	95.00	3
S16	4997.68	8	90.00	31

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Παροχή Ακαθάρτων

Στον ακόλουθο Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έγινε στο Κεφάλαιο 2.2.1, με τον υπολογισμό της ωριαίας παροχής ακαθάρτων για κάθε υπολεκάνη. Η μεγαλύτερη παροχή ακαθάρτων εμφανίστηκε στην υπολεκάνη S15 (0.025m<sup>3</sup>/s), ενώ η μικρότερη παροχή στην υπολεκάνη S1 (0.001 m<sup>3</sup>/s).

**Πίνακας 4.1: Παροχή Ακαθάρτων για κάθε μία υπολεκάνη της περιοχής μελέτης**

ΛΕΚΑΝΗ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (m <sup>3</sup> /s)
S1	0.001
S2	0.002
S3	0.003
S4	0.003
S5	0.004
S6	0.001
S7	0.003
S8	0.008
S9	0.003
S10	0.004
S11	0.002
S12	0.003
S13	0.002
S14	0.004
S15	0.025
S16	0.023

Η εισαγωγή της παροχής αυτής στο λογισμικό SWMM έγινε μέσω της παραμέτρου Dry Weather Inflow στο αντίστοιχο φρεάτιο όπου αποχετεύεται η κάθε υπολεκάνη. Στον Πίνακα 4.2 απεικονίζεται η χρονική κατανομή του ύψους βροχόπτωσης κάνοντας χρήση της εξίσωσης της όμβριας καμπύλης (3.2), για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 2 έτη, διάρκειας 1 ώρας, λαμβάνοντας χρονικό βήμα 5 λεπτά.

**Πίνακας 4.2: Μέθοδος υπολογισμού του υετογραφήματος για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 2 έτη και διάρκειας 1 ώρας με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ**

Χρονική στιγμή (h:min)	h(mm)	Διαφορά	Ύψος Βροχόπτωσης (mm)
0:05	3.86	3.86	0.66
0:10	6.25	2.39	0.77

0:15	8.01	1.76	0.92
0:20	9.43	1.41	1.19
0:25	10.62	1.19	1.76
0:30	11.66	1.04	3.86
0:35	12.58	0.92	2.39
0:40	13.42	0.83	1.41
0:45	14.18	0.77	1.04
0:50	14.89	0.71	0.83
0:55	15.55	0.66	0.71
1:00	16.17	0.62	0.62

#### 4.2 Υετογραφήματα Σχεδιασμού

Με βάση την εξίσωση (3.2) της όμβριας καμπύλης, κατασκευάστηκαν συνολικά 20 υετογραφήματα σχεδιασμού με την μέθοδο των Εναλλασσόμενων Μπλοκ για βροχοπτώσεις διάρκειας 1, 2, 3, 6 ωρών και περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25 και 50 ετών, με χρονικό βήμα τα 5 λεπτά. Παρακάτω παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 και 4.5 τα υετογραφήματα σχεδιασμού για  $T=2, 5, 10, 25, 50$  έτη και  $t=1$  ώρα, αντίστοιχα, ενώ τα υπόλοιπα υετογραφήματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α (Εικόνες Α1 έως Α20).

Στην Εικόνα 4.1 απεικονίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού βροχόπτωσης διάρκειας 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 2 έτη. Παρατηρείται μέγιστο ύψος βροχόπτωσης στα 30 λεπτά με τιμή 3.86mm, και το συνολικό ύψος βροχής ανέρχεται στα 16.17mm.



**Εικόνα 4.1: Υετογράφημα Σχεδιασμού  $T=2$  έτη ,  $t=1h$**

Στην Εικόνα 4.2 απεικονίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού βροχόπτωσης διάρκειας 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 5 έτη. Στο συγκεκριμένο υετογράφημα έχουμε μεγαλύτερες τιμές

ύψους βροχόπτωσης από αυτής με περίοδο επαναφοράς 2 έτη, κάτι το λογικό εφόσον πρόκειται για δυσμενέστερη βροχόπτωση, με το μέγιστο ύψος να φτάνει σχεδόν τα 5.3 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης στα 22.05 mm.



**Εικόνα 4.2: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 έτη , t=1h**

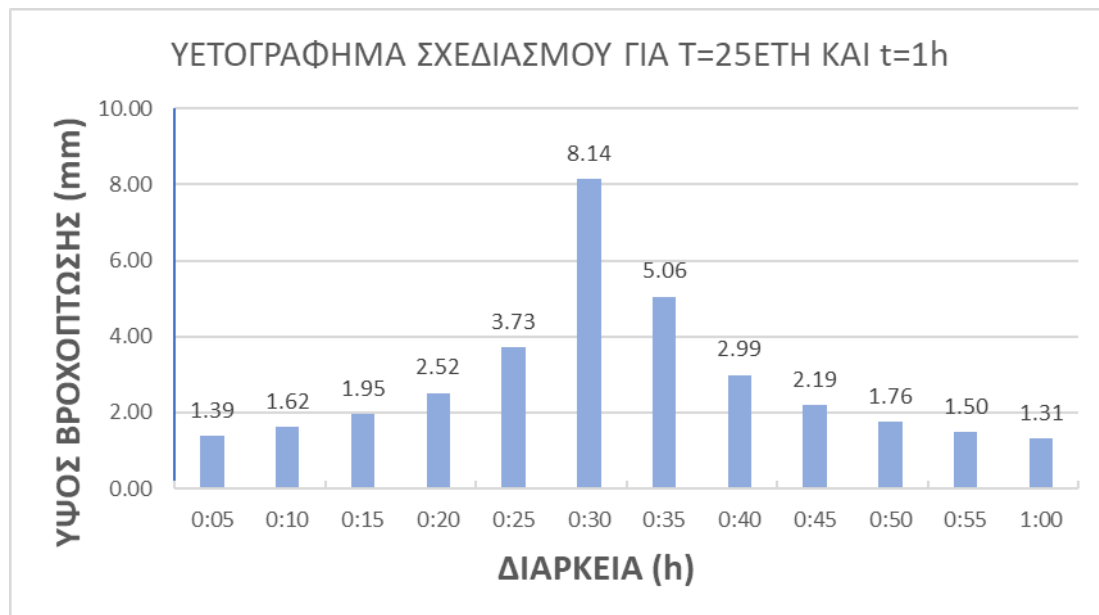
Στην Εικόνα 4.3 απεικονίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού βροχόπτωσης διάρκειας 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 10 έτη. Εμφανίζεται ελάχιστη τιμή ύψους βροχόπτωσης στη 1 ώρα με περίπου 1mm και μέγιστη τιμή στα 30 λεπτά με 6.43mm, ενώ το συνολικό ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται στα 26.96 mm.



**Εικόνα 4.3: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 έτη , t=1h**

Στην Εικόνα 4.4 απεικονίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού βροχόπτωσης διάρκειας 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 25 έτη. Με την εξίσωση (3.2) και με τη μέθοδο εναλλασσόμενων

μπλοκ, εν τέλει καταλήξαμε στον υπολογισμό του ύψους βροχόπτωσης ανά 5 λεπτά, με τη μέγιστη τιμή να είναι τα 8.14 mm και το ύψος βροχόπτωσης να φτάνει συνολικά στα 34.15 mm.



**Εικόνα 4.4: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 έτη , t=1h**

Στην Εικόνα 4.5 απεικονίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού βροχόπτωσης διάρκειας 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 50 έτη. Η ελάχιστη τιμή ύψους βροχόπτωσης είναι 1.54mm, ενώ η μέγιστη τιμή του υετογραφήματος παρουσιάζεται στα 30 λεπτά με τιμή περίπου 9.6mm, ενώ το συνολικό ύψος βροχής φτάνει τα 40.16 mm.



**Εικόνα 4.5: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 έτη , t=1h**

Στον Παρακάτω Πίνακα 4.3 αναγράφεται το συνολικό ύψος βροχόπτωσης (mm) για όλες τις διάρκειες και όλες τις περιόδους επαναφοράς. Το συνολικό ύψος βροχής μεταβλήθηκε από 16.17 mm για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 έτη και διάρκειας 1 ώρας στα 83.95 mm για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 έτη και διάρκειας 6 ωρών.

**Πίνακας 4.3: Συνολικό ύψος βροχόπτωσης για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 έτη και διάρκειας 1, 2, 3 και 6 ωρών.**

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (έτη)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (ώρες)	Συνολικό ύψος βροχόπτωσης (mm)
T=2	t=1	16.17
	t=2	21.77
	t=3	25.68
	t=6	33.80
T=5	t=1	22.05
	t=2	29.68
	t=3	35.02
	t=6	46.08
T=10	t=1	26.96
	t=2	36.30
	t=3	42.83
	t=6	56.36
T=25	t=1	34.15
	t=2	45.98
	t=3	54.25
	t=6	71.38
T=50	t=1	40.16
	t=2	54.07
	t=3	63.80
	t=6	83.95

#### 4.3 Σενάρια

Στην εφαρμογή στο SWMM, προσομοιώθηκαν, εκτός του Μηδενικού Σεναρίου, τρία εναλλακτικά Σενάρια, τα οποία διαστασιολογήθηκαν για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 10 έτη, διάρκειας 6 ωρών και είχαν τα εξής χαρακτηριστικά:

**Σενάριο 0:** Η τωρινή κατάσταση του αποχετευτικού συστήματος, χωρίς καμία αλλαγή.

**Σενάριο 1:** Αποκλειστική χρήση πράσινων στεγών.

Συνολικά, στις 16 υπολεκάνες, εκτιμήθηκε ότι υπάρχουν περίπου 214 κανονικές στέγες που μπορούν να μετατραπούν σε πράσινες στέγες. Με στόχο την σωστή λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος με βάση το Π.Δ. 696/74, εξετάστηκε η προσομοίωση 96

πράσινων στεγών, συνολικής έκτασης 86,904 m<sup>2</sup> με μετατροπή, κοντά στο 20% της συνολικής αδιαπέρατης επιφάνειας.

**Σενάριο 2:** Αποκλειστική χρήση περατών οδοστρωμάτων.

Όπως και στο Σενάριο 1, εξετάστηκε η μετατροπή του 63% των αρχικών οδοστρωμάτων σε περατά οδοστρώματα έκτασης 100,233 m<sup>2</sup>, με αντικατάσταση 23% της συνολικής αδιαπέρατης επιφάνειας.

**Σενάριο 3:** Συνδυαστική χρήση πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων.

Στο Συνδυαστικό Σενάριο μελετήθηκε μετατροπή 21,900 m<sup>2</sup> στεγών σε πράσινες στέγες και 70,707 m<sup>2</sup> οδοστρωμάτων σε περατά οδοστρώματα, με αντικατάσταση περίπου 22% της αρχικής αδιαπέρατης επιφάνειας. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εύρεση της κατάλληλης αναλογίας πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων, αναλύθηκε παρακάτω.

#### 4.4 Διερεύνηση Ελαχιστοποίησης Κόστους

Για την διαστασιολόγηση του Συνδυαστικού Σεναρίου 3 που αποτελείται από ταυτόχρονη διαστασιολόγηση πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων στην λεκάνη απορροής, πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια βελτιστοποίησης-ελαχιστοποίησης του κόστους κατασκευής.

Στόχος του Σεναρίου 3 ήταν η διαστασιολόγηση των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιτευχθεί:

- Ελάχιστο δυνατό κόστος
- Λειτουργικότητα του αποχετευτικού συστήματος, με βάση το Π.Δ. 696/74, για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ώρες:
  - i. Αποφυγή αγωγών με λόγο πλήρωσης > 0.8
  - ii. Αποφυγή αγωγών με ταχύτητα ροής > 6m/s

#### 4.5 Αρχική Διερεύνηση

Για την επιλογή του κόστους κατασκευής των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, αξιοποιήθηκε η προϋπάρχουσα βιβλιογραφία των Kourtis et al. (2020), χρησιμοποιώντας κόστος κατασκευής για πράσινες στέγες 202 ευρώ/m<sup>2</sup> και για περατά οδοστρώματα 163 ευρώ/m<sup>2</sup>.

Αρχικά, καταγράφηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί αντικατάστασης πράσινων στεγών (Green Roof-GR) και περατών οδοστρωμάτων (Permeable Pavement-PP). Συνολικά



διερευνήθηκαν 81 διαφορετικοί συνδυασμοί %GR-%PP, με στόχο την εύρεση του πιο φθηνού αλλά και παράλληλα λειτουργικού συνδυασμού, οι οποίοι ταξινομήθηκαν με βάση το κόστος.

Ο τρόπος επίλυσης που ακολουθήθηκε στην εργασία, είναι βασισμένος στις εξής δύο αρχές:

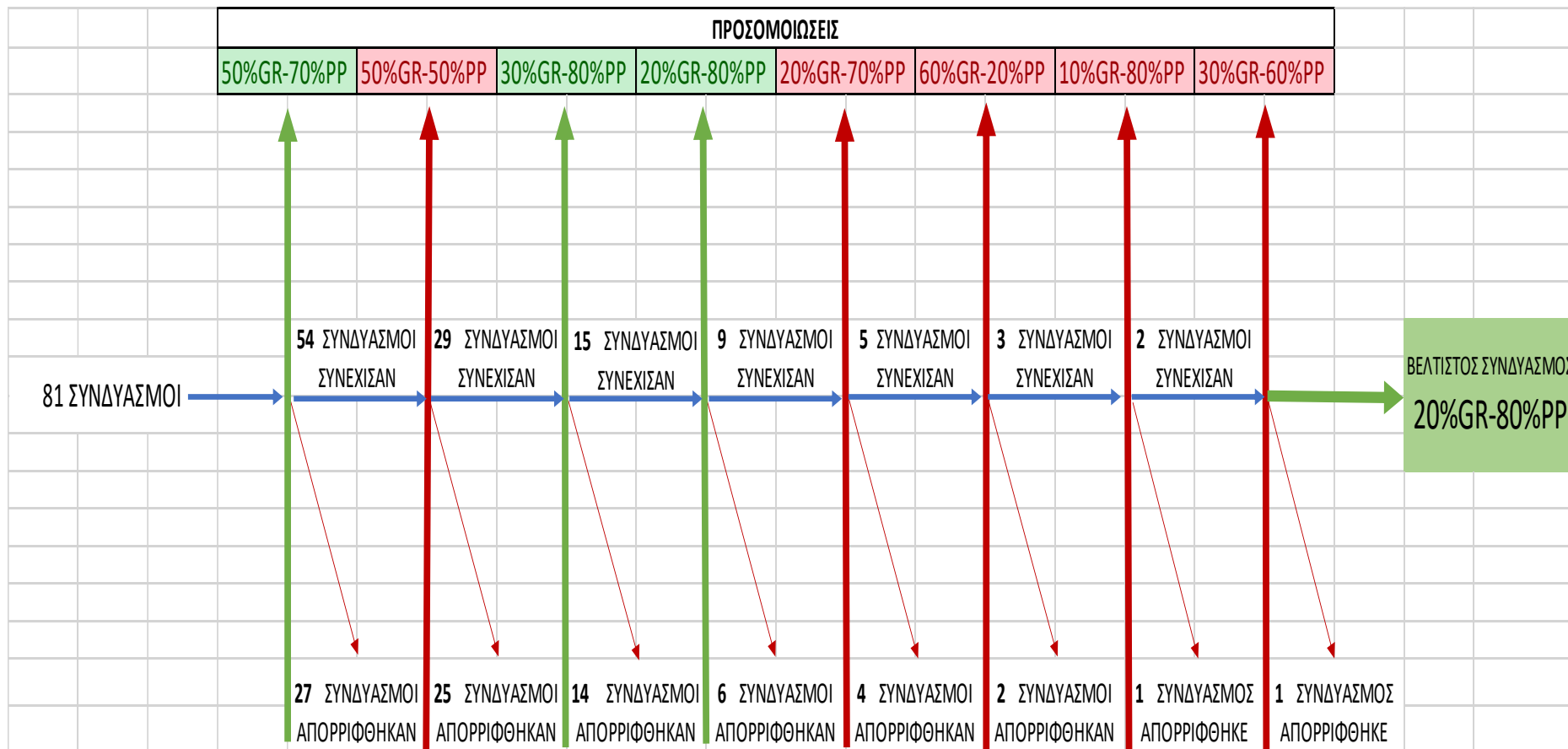
- i. **Πρώτη Αρχή** : Έστω ότι επιλέχτηκε η προσομοίωση του συνδυασμού 50%GR-50%PP στο λογισμικό SWMM. Στη περίπτωση που η προσομοίωση αυτή ήταν επιτυχής στο SWMM, δηλαδή δεν παρατηρήθηκαν αγωγοί με  $Y/D > 0.8$  και πλημμυρισμένα φρεάτια, τότε θα αποκλειστούν όλοι οι υπόλοιποι συνδυασμοί με μεγαλύτερο κόστος από αυτή.
- ii. **Δεύτερη Αρχή** : Έστω, ότι επιλέχτηκε πάλι η ίδια προσομοίωση όπως παραπάνω, την 50%GR-50%PP, και αφού προσομοιώθηκε στο SWMM, τελικά κρίθηκε ως μη-επιτυχής διότι υπήρχαν αγωγοί με  $Y/D > 0.8$ . Εκτός από τον 50%GR-50%PP, απορρίφθηκαν και όλοι οι υπόλοιποι συνδυασμοί με οποιαδήποτε από τις δύο παραμέτρους μετατροπής σε αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, μικρότερη του 50%, αφού προφανώς και αυτοί θα αποτυγχάνουν. Σε αυτή την περίπτωση, δεν μας ενδιέφερε το κόστος του συνδυασμού.

Στην Εικόνα 4.6 απεικονίζεται σε γράφημα οι δύο αρχές που ακολουθήθηκαν.



Εικόνα 4.6: Οι δύο αρχές που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της οικονομικότερης λύσης

Στην Εικόνα 4.7 απεικονίζονται οι 8 προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν με βάση την προαναφερθείσα μεθοδολογία στο SWMM. Η βέλτιστη λύση προέκυψε ως η αντικατάσταση 20% των στεγών με πράσινες στέγες και 80% των οδοστρωμάτων με περατά οδοστρώματα. Με πράσινο χρώμα αντικατοπτρίζονται οι επιτυχείς προσομοιώσεις ενώ με κόκκινο οι μη επιτυχείς.



Εικόνα 4.7: Οι 8 προσομοιώσεις που έγιναν στην προσπάθεια βελτιστοποίησης του κόστους

Προφανώς το αρχικό κόστος του Σεναρίου 3 με 36,926m<sup>2</sup> πράσινων στεγών και 129,284m<sup>2</sup> περατών οδοστρωμάτων (28,532,319€) κρίθηκε υπερβολικά μεγάλο, ειδικά σε σχέση με το κόστος του Σεναρίου 1 (17,554,674€) και του Σεναρίου 2 (16,337,984€). Όμως, αυτό που υπολογίστηκε για το Σενάριο 3 ήταν μια αρχική βάση, πάνω στην οποία πραγματοποιήθηκε περαιτέρω μείωση του κόστους. Τελικά, με μείωση της έκτασης των πράσινων στεγών κατά 40.7% και των περατών οδοστρωμάτων κατά 45.3%, επετεύχθη μείωση 44% του αρχικού κόστους του Σεναρίου 3 (15,949,204 €). Στο Σενάριο 3 πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση 21.6% της συνολικής αδιαπέρατης επιφάνειας της περιοχής μελέτης. Στον Πίνακα 4.4 αναγράφονται αναλυτικά η έκταση των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου και το κόστος για κάθε Σενάριο.

**Πίνακας 4.4: Έκταση και κόστος πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων για κάθε Σενάριο**

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΚΤΑΣΗ Πράσινων στεγών (m <sup>2</sup> )	ΕΚΤΑΣΗ Περατών οδοστρωμάτων (m <sup>2</sup> )	ΚΟΣΤΟΣ(ευρώ)
1	86,904	0	17,554,674
2	0	100,233	16,337,984
3	21,900	70,707	15,949,204

Ακόμη, υπολογίστηκε στον Πίνακα 4.5 το ποσοστό μείωσης της επιφανειακής απορροής ανά 1,000,000 ευρώ κόστους κατασκευής για κάθε Σενάριο και για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ώρες. Το Σενάριο 2 φάνηκε να έχει καλύτερη αποτελεσματικότητα σε σχέση με το Σενάριο 1 και το Σενάριο 3, πετυχαίνοντας 0.3% και 1% μεγαλύτερη μείωση απορροής αντίστοιχα.

**Πίνακας 4.5: Ποσοστό μείωσης απορροής ανά 1,000,000 ευρώ κόστους**

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	ΚΟΣΤΟΣ (ευρώ)	%ΜΕΙΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	% ΜΕΙΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΝΑ 1,000,000 ΕΥΡΩ ΚΟΣΤΟΥΣ
0	51.788			
1	42.108	17,554,674	19%	1.1%
2	33.983	16,337,984	34%	2.1%
3	36.785	15,949,204	29%	1.8%

#### 4.6 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Στον Πίνακα 4.6, αναγράφονται ο αριθμός των αγωγών που δεν πληρούν τα όρια του ΠΔ-696/74, όπου ορίζεται πως ο λόγος πλήρωσης των αγωγών πρέπει να είναι μικρότερος του 0.8 και η ταχύτητα ροής να μην ξεπερνά τα 6m/s. Ακόμη, απαριθμούνται τα φρεάτια στα οποία εμφανίζονται πλημμυρικά φαινόμενα. Στον Πίνακα 4.7, απεικονίζεται το ύψος της επιφανειακής απορροής (mm) στην περιοχή μελέτης και η παροχή αιχμής (m<sup>3</sup>/s) στον αγωγό εξόδου του δικτύου, για κάθε μία προσομοίωση.

Πίνακας 4.6: Ο αριθμός των αγωγών που εμφανίζουν λόγο πλήρωσης >0.8, ταχύτητα ροής >6m/s και των φρεατίων που πλημμυρίζουν

	ΣΕΝΑΡΙΟ 0		ΣΕΝΑΡΙΟ 1			ΣΕΝΑΡΙΟ 2			ΣΕΝΑΡΙΟ 3				
	ΑΓΩΓΟΙ		ΑΓΩΓΟΙ			ΑΓΩΓΟΙ			ΑΓΩΓΟΙ				
	Υ/D>0/8	U>6m/s	ΦΡΕΑΤΙΑ	Υ/D>0/8	U>6m/s	ΦΡΕΑΤΙΑ	Υ/D>0/8	U>6m/s	ΦΡΕΑΤΙΑ	Υ/D>0/8	U>6m/s	ΦΡΕΑΤΙΑ	
T=2	t=1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T=5	t=1	10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=2	12	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=3	13	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=6	13	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T=10	t=1	13	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=2	13	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=3	13	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t=6	13	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T=25	t=1	13	0	13	7	0	0	5	0	0	6	0	0
	t=2	13	0	13	9	0	1	7	0	1	7	0	1
	t=3	13	0	13	9	0	3	8	0	2	9	0	2
	t=6	13	0	13	14	0	13	9	0	3	11	0	3
T=50	t=1	14	0	13	13	0	6	10	0	4	12	0	6
	t=2	15	0	13	15	0	12	15	0	10	15	0	12
	t=3	15	0	13	15	0	13	15	0	12	15	0	13
	t=6	15	0	13	15	0	13	15	0	13	15	0	13

Πίνακας 4.7: Ύψος Επιφανειακής Απορροής και Παροχή Αιχμής στην έξοδο του δικτύου για κάθε Σενάριο

		ΣΕΝΑΡΙΟ 0		ΣΕΝΑΡΙΟ 1		ΣΕΝΑΡΙΟ 2		ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
		ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	ΠΑΡΟΧΗ(m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	ΠΑΡΟΧΗ(m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	ΠΑΡΟΧΗ(m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	ΠΑΡΟΧΗ(m <sup>3</sup> /s)
<b>T=2</b>	<b>t=1</b>	12.102	2.45	8.38	1.74	7.746	1.66	5.368	1.68
	<b>t=2</b>	17.499	2.8	12.214	1.98	11.308	1.88	11.74	1.91
	<b>t=3</b>	21.382	2.95	14.977	2.09	13.874	1.98	14.401	2.02
	<b>t=6</b>	29.401	3.12	20.717	2.23	19.179	2.11	19.95	2.15
<b>T=5</b>	<b>t=1</b>	17.669	3.7	12.322	2.64	11.408	2.51	11.844	2.55
	<b>t=2</b>	25.277	4.01	17.743	2.96	16.44	2.8	17.074	2.87
	<b>t=3</b>	30.627	4.23	21.606	3.1	19.98	2.93	20.8	2.99
	<b>t=6</b>	41.636	4.58	32.003	3.27	27.267	3.11	29.061	3.15
<b>T=10</b>	<b>t=1</b>	22.428	4.83	15.703	3.45	14.547	3.27	15.098	3.33
	<b>t=2</b>	31.798	5.11	22.459	3.82	20.749	3.62	21.62	3.7
	<b>t=3</b>	38.324	5.25	28.698	4.02	25.068	3.79	26.529	3.86
	<b>t=6</b>	51.788	5.38	42.108	4.23	33.983	3.99	36.785	4.07
<b>T=25</b>	<b>t=1</b>	29.507	5.74	20.773	4.7	19.221	4.44	19.999	4.54
	<b>t=2</b>	41.385	6.15	31.746	5.19	27.087	4.92	28.852	5
	<b>t=3</b>	49.659	6.29	39.981	5.38	32.565	5.06	35.154	5.15
	<b>t=6</b>	66.731	6.42	56.974	5.72	43.872	5.23	48.155	5.32
<b>T=50</b>	<b>t=1</b>	35.461	6.53	25.885	5.62	23.157	5.31	24.338	5.5
	<b>t=2</b>	49.396	7.03	39.721	6.23	32.386	5.93	34.948	6.16
	<b>t=3</b>	59.135	7.18	49.41	6.73	38.835	6.19	42.365	6.39
	<b>t=6</b>	79.22	7.31	69.397	7.15	52.139	6.5	57.66	6.83

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το αποχετευτικό σύστημα στην υπάρχουσα κατάσταση κρίθηκε ικανό να αποχετεύσει την απορροή μέχρι και για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας 2 ωρών. Για δυσμενέστερες βροχοπτώσεις, το σύστημα αδυνατούσε να λειτουργήσει σωστά και παρουσίαζε αγωγούς με λόγο πλήρωσης μεγαλύτερο του 0.8. Τα πρώτα πλημμυρικά φαινόμενα στο Μηδενικό Σενάριο εμφανίστηκαν για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας μίας ώρας, με τρία πλημμυρισμένα φρεάτια. Όπως είναι λογικό, για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, όλο και περισσότεροι αγωγοί και φρεάτια αδυνατούσαν να αποχετεύσουν σωστά την απορροή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως για καταιγίδες μεγάλης έντασης, δημιουργήθηκε ακόμα περισσότερη απορροή, η οποία δεν μπόρεσε να διοχετευτεί αποτελεσματικά από το αποχετευτικό σύστημα.

Η δυσμενέστερη κατάσταση στο αποχετευτικό σύστημα εμφανίστηκε για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας 6 ωρών, όπου 15 από σύνολο 19 αγωγών παρουσίασαν λόγο πλήρωσης μεγαλύτερο του 0.8 και 13 φρεάτια πλημμύρισαν. Για όλες τις προσομοιώσεις, δεν βρέθηκε αγωγός με ταχύτητα ροής μεγαλύτερη των 6m/s. Ακόμη, η επιφανειακή απορροή και η παροχή αιχμής ακολούθησαν το ίδιο μοτίβο με τα πλημμυρικά φαινόμενα, με πολύ μεγάλη αύξηση του ύψους της επιφανειακής απορροής από περίπου 12mm (6,147m<sup>3</sup> όγκου απορροής) για T=2, t=1 σε 79mm (40,236m<sup>3</sup> όγκου απορροής) για T=50 και t=6, ενώ η παροχή αιχμής στον αγωγό εξόδου μεταβλήθηκε από 2.45m<sup>3</sup>/s σε 7.31m<sup>3</sup>/s για τις αντίστοιχες βροχοπτώσεις. Ενδιαφέρον προκάλεσε πως το ποσοστό μετατροπής, στο Σενάριο 0, της συνολικής βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή (Εικόνα 4.8) αυξήθηκε από 87% για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας 6 ωρών, στο 94% για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας 6 ωρών.



**Εικόνα 4.8:** Συσχετισμός βροχόπτωσης-απορροής για βροχόπτωση διάρκειας 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς από 2 έως και 50 έτη

Το φαινόμενο αυτό είναι λογικό, εφόσον πρόκειται για μια αστική λεκάνη απορροής με πολύ μεγάλο ποσοστό αδιαπέρατων επιφανειών (84% αδιαπερατότητα), με αποτέλεσμα για ακραία γεγονότα βροχόπτωσης, ο ρυθμός διήθησης του έδαφους να είναι μικρότερος της έντασης της βροχόπτωσης. Αυτό έχει ως συνέπεια τον κορεσμό του εδάφους και την αύξηση της επιφανειακής απορροής. Συγκεκριμένα, για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 έτη και διάρκειας 6 ωρών, από τα 83.88mm βροχόπτωσης, τα 79.22mm μετατράπηκαν σε επιφανειακή απορροή (40,236m<sup>3</sup> όγκου απορροής).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των Σεναρίων 1, 2 και 3, αυτά κρίθηκαν ως θετικά, εφόσον όλα τα Σενάρια πέτυχαν τον στόχο της διαστασιολόγησής τους. Ο σκοπός τους ήταν η μείωση του αριθμού των αγωγών με λόγο πλήρωσης μεγαλύτερου του 0.8 και των πλημμυρισμένων φρεατιών. Ακόμη, και τα τρία Σενάρια πέτυχαν μείωση της συνολικής επιφανειακής απορροής και της αιχμής απορροής στον αγωγό εξόδου σε όλες τις προσομοιώσεις.

Συγκεκριμένα, τα τρία Σενάρια διαστασιολογήθηκαν για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας 6 ωρών. Σε όλα τα Σενάρια που εφαρμόστηκαν αιφίδρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, το αποχετευτικό σύστημα λειτουργούσε αποτελεσματικά μέχρι και για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας 6 ωρών, το οποίο επιβεβαιώθηκε από την απουσία αγωγών με λόγο πλήρωσης μεγαλύτερου του 0.8 και πλημμυρισμένων φρεατιών για τις συγκεκριμένες βροχοπτώσεις.

Όλα τα Σενάρια πέτυχαν περίπου την ίδια ποσοστιαία μείωση της επιφανειακής απορροής για όλες τις προσομοιώσεις σε σχέση με την τωρινή κατάσταση, περίπου στο 32%, με μόνη εξαίρεση να αποτελεί το Σενάριο 1 (Πράσινες Στέγες), το οποίο αδυνατούσε να μειώσει την επιφανειακή απορροή περισσότερο από περίπου 20% για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας 6 ωρών.

Την μεγαλύτερη μεμονωμένη μείωση της επιφανειακής απορροής πέτυχε το Συνδυαστικό Σενάριο 3 (2,726.41 m<sup>3</sup> όγκου απορροής), με μείωση 55.6% σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο (6,146.61 m<sup>3</sup> όγκου απορροής) για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας μίας ώρας.

Στο Σενάριο 2 εντοπίστηκε συστηματικά για όλες τις υπόλοιπες βροχοπτώσεις η μεγαλύτερη μείωση της απορροής (34%) σε σχέση με το μηδενικό Σενάριο. Επίσης, στο ίδιο Σενάριο εμφανίστηκε και η μεγαλύτερη μεμονωμένη μείωση της αιχμής παροχής στον αγωγό εξόδου, της τάξης του 32.9%, για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας 2 ωρών.

Με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς των βροχοπτώσεων πάνω από 10 έτη, διαπιστώθηκε μια εμφανής μείωση της αποτελεσματικότητας και των τριών εναλλακτικών Σεναρίων όσον αφορά την ικανότητα μείωσης της παροχής αιχμής και του όγκου επιφανειακής απορροής. Στο Σενάριο 1 και για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 έτη, η παροχή αιχμής μειώθηκε μόλις 2% (από 7.31m<sup>3</sup>/s σε 7.15m<sup>3</sup>/s) και η επιφανειακή απορροή κατά 12% (από 40,235.84m<sup>3</sup> σε 35,246.74m<sup>3</sup> όγκου απορροής) σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο.

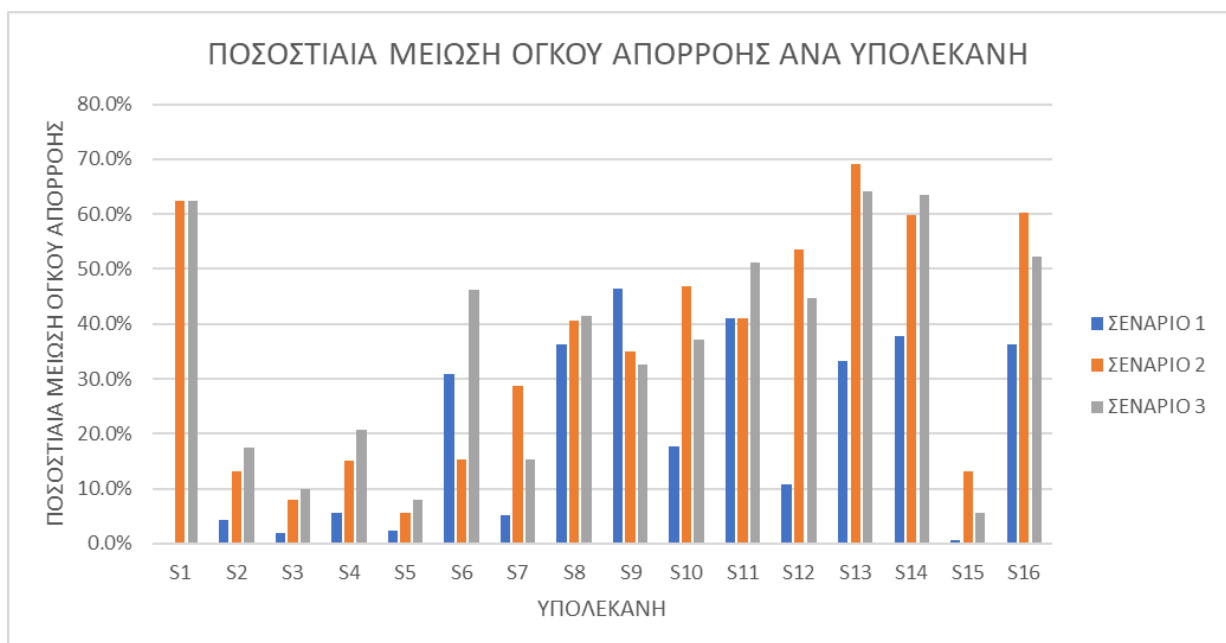
Σε κανένα Σενάριο δεν παρατηρήθηκε κάποια ουσιαστική μείωση των πλημμυρικών φαινομένων για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 50 ετών, με την παρουσία 13 πλημμυρισμένων φρεατίων και στα 4 Σενάρια για διάρκεια βροχόπτωσης 6 ώρες.

Ακόμη, δεν εντοπίστηκε κάποια σημαντική μείωση στον αριθμό των αγωγών που εμφάνισαν λόγο πλήρωσης μεγαλύτερο του 0.8 για έντονες καταιγίδες. Συγκεκριμένα, για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 έτη και διάρκειας 6 ωρών, παρατηρήθηκαν 15 αγωγοί με λόγο πλήρωσης  $y/D = 1$  και στα τρία εναλλακτικά Σενάρια, χωρίς να μπορούν οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου να προσφέρουν ουσιαστικές λύσεις. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να δικαιολογηθεί, εφόσον η διαστασιολόγηση όλων των Σεναρίων και των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου έγινε για βροχοπτώσεις μικρότερων περιόδων επαναφοράς.

Το Σενάριο 2 πέτυχε το καλύτερο αποτέλεσμα αναφορικά με τη μείωση των αγωγών και των φρεατίων που υπερβαίνουν τα όρια του ορίζονται στο Π.Δ. 696/74, παρουσιάζοντας τα λιγότερα πλημμυρικά φαινόμενα ακόμα και κατά τη διάρκεια ακραίων καταιγίδων.

Συγκεκριμένα για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 έτη και διάρκειας 1 ώρας, εμφανίστηκαν 4 λιγότεροι αγωγοί με  $y/D > 0.8$  και 9 λιγότερα πλημμυρισμένα φρεάτια σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο. Τέλος, όπως και στην τωρινή κατάσταση, σε όλα τα εναλλακτικά Σενάρια δεν εντοπίστηκε κάποιος αγωγός με ταχύτητα ροής πάνω από 6m/s.

Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται η παροχή αιχμής ( $m^3/s$ ), ο συνολικός όγκος επιφανειακής απορροής ( $m^3$ ) και στις Εικόνες 4.9 και 4.10 η αντίστοιχη ποσοστιαία μείωση της αιχμής και του όγκου απορροής σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς  $T=10$  έτη και διάρκειας  $t=6$  ώρες, σε κάθε υπολεκάνη και για όλα τα Σενάρια.

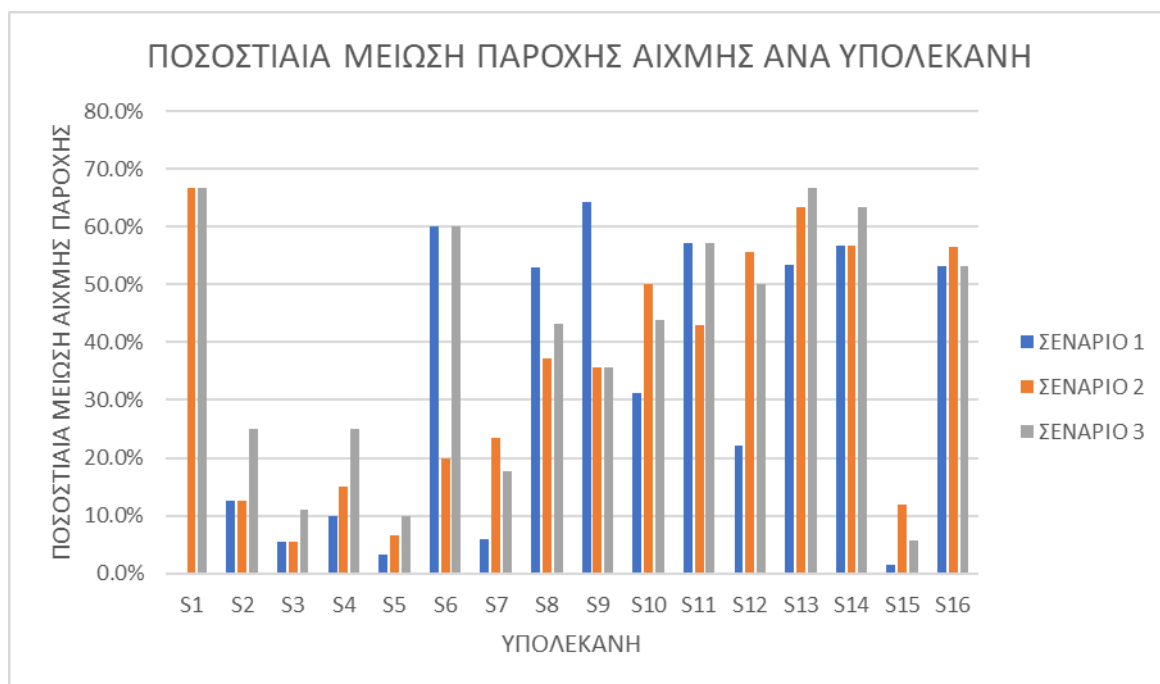


Εικόνα 4.9: Ποσοστιαία μείωση όγκου απορροής ανά υπολεκάνη και ανά Σενάριο



Πίνακας 4.8: Όγκος Απορροής και Παροχή Αιχμής για κάθε υπολεκάνη όλων των Σεναρίων

ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 0		ΣΕΝΑΡΙΟ 1		ΣΕΝΑΡΙΟ 2		ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ (m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (m <sup>3</sup> )	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ (m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (m <sup>3</sup> )	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ (m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (m <sup>3</sup> )	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ (m <sup>3</sup> /s)	ΑΠΟΡΡΟΗ (m <sup>3</sup> )
S1	0.03	80.00	0.03	80.00	0.01	30.00	0.01	30.00
S2	0.08	230.00	0.07	220.00	0.07	200.00	0.06	190.00
S3	0.18	500.00	0.17	490.00	0.17	460.00	0.16	450.00
S4	0.20	530.00	0.18	500.00	0.17	450.00	0.15	420.00
S5	0.30	880.00	0.29	860.00	0.28	830.00	0.27	810.00
S6	0.05	130.00	0.02	90.00	0.04	110.00	0.02	70.00
S7	0.17	590.00	0.16	560.00	0.13	420.00	0.14	500.00
S8	0.51	2120.00	0.24	1350.00	0.32	1260.00	0.29	1240.00
S9	0.14	430.00	0.05	230.00	0.09	280.00	0.09	290.00
S10	0.16	620.00	0.11	510.00	0.08	330.00	0.09	390.00
S11	0.14	390.00	0.06	230.00	0.08	230.00	0.06	190.00
S12	0.18	560.00	0.14	500.00	0.08	260.00	0.09	310.00
S13	0.15	390.00	0.07	260.00	0.06	120.00	0.05	140.00
S14	0.30	820.00	0.13	510.00	0.13	330.00	0.11	300.00
S15	2.11	10130.00	2.08	10060.00	1.86	8790.00	1.99	9570.00
S16	1.77	7910.00	0.83	5040.00	0.77	3150.00	0.83	3770.00



**Εικόνα 4.10: Ποσοστιαία μείωση παροχής αιχμής ανά υπολεκάνη**

Είναι φανερό πως και τα τρία Σενάρια μείωσαν την αιχμή παροχής και τον όγκο απορροής σε όλες τις υπολεκάνες σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο. Την μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση όγκου απορροής πέτυχε το Σενάριο 2, στην υπολεκάνη S13, στα 69.2%.

Μόνη εξαίρεση αποτέλεσε στο Σενάριο 1 η υπολεκάνη S1, όπου η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής παρέμειναν ίδιοι. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το ότι στην συγκεκριμένη υπολεκάνη διαστασιολογήθηκε στο λογισμικό SWMM μόνο μία μικρής έκτασης πράσινη στέγη 55.6 m<sup>2</sup>, η οποία δεν μπόρεσε να προσφέρει κάποια αισθητή αλλαγή στο σύστημα.

Κάθε μία υπολεκάνη εμφάνισε διαφορετικό ποσοστό μείωσης της παροχής αιχμής και του συνολικού όγκου απορροής σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο, κάτι το οποίο οφείλεται στο ότι εξετάστηκε διαφορετική συνολική έκταση αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου σε κάθε υπολεκάνη.

Διαπιστώθηκε μεγάλος συσχετισμός μεταξύ του ποσοστού μείωσης του όγκου απορροής και του ποσοστού αντικατάστασης της αδιαπέρατης επιφάνειας της κάθε υπολεκάνης με πράσινες στέγες ή περατά οδοστρώματα. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, εφόσον έχει διαπιστωθεί και από άλλες έρευνες, όπως των Samouei et al. (2020), πως σε υπολεκάνες με μεγάλο ποσοστό αντικατάστασης της αδιαπέρατης επιφάνειας τους με αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση στην επιφανειακή απορροή και στην παροχή αιχμής.

Σε αντίθεση με το Σενάριο 1 στην υπολεκάνη S1, όπου λόγο της μικρής αντικατάστασης αδιαπέρατης επιφάνειας (5%), δεν παρατηρήθηκε μείωση στον όγκο απορροής, στο ίδιο Σενάριο, στην υπολεκάνη S8 όπου διαστασιολογήθηκαν 26 πράσινες στέγες μέσης έκτασης 533.93 m<sup>2</sup> που αντιστοιχούν σε 40% αντικατάσταση της αδιαπέρατης επιφάνειας,

παρουσιάστηκε μείωση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής 52.9% και 36.3% αντίστοιχα.

Η μέγιστη ποσοστιαία μείωση της αιχμής παροχής (66.7%), παρατηρήθηκε για το Σενάριο 2 και την υπολεκάνη S1, ενώ ακριβώς η ίδια ποσοστιαία μείωση εμφανίστηκε στο Σενάριο 3 στις υπολεκάνες S1 και S13. Στο Σενάριο 2 και υπολεκάνη S1 έγινε αντικατάσταση 52% της αδιαπέρατης επιφάνειας με περατά οδοστρώματα, ενώ στο Σενάριο 3 για τις υπολεκάνες S1 και S13, εξετάστηκε 57% και 50% αντικατάσταση της αδιαπέρατης επιφάνειας με αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, αντίστοιχα. Η μέγιστη ποσοστιαία μείωση του όγκου απορροής (69.2%) εντοπίστηκε στην υπολεκάνη S13 για το Σενάριο 2, με 49% αντικατάσταση της αδιαπέρατης επιφάνειας με περατά οδοστρώματα.

Η μέγιστη αιχμή παροχής για το Σενάριο 0 εμφανίστηκε στην υπολεκάνη S15, με τιμή 2.11m<sup>3</sup>/s, η οποία μειώθηκε με βάση τα Σενάρια 1, 2, 3 κατά 1.4%, 11.8%, και 5.7%, αντίστοιχα. Ο μέγιστος όγκος απορροής παρατηρήθηκε στην ίδια υπολεκάνη με τιμή ίση με 10,130m<sup>3</sup> για το Σενάριο 0, ενώ υπολογίστηκε η μείωση του κατά 1%, 13% και 6% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, αντίστοιχα.

Για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ώρες, το Σενάριο 2 πέτυχε την μεγαλύτερη μείωση (34.4%) του συνολικού όγκου απορροής (17,260 m<sup>3</sup>) σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο (26,303 m<sup>3</sup>). Με βάση την αποτελεσματικότητα τους στην μείωση της απορροής, ακολούθησαν τα Σενάρια 3 (18,683 m<sup>3</sup>) και 1 (21,387 m<sup>3</sup>) με 29.0% και 18.7% μείωση αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί, πως αν και το Σενάριο 1 παρουσίασε τα χειρότερα αποτελέσματα, κατάφερε πολύ μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση στην αιχμή παροχής από ότι στον όγκο απορροής. Συγκεκριμένα, στην υπολεκάνη S9, όπου διαστασιολογήθηκαν 7 πράσινες στέγες συνολικής έκτασης 3,642 m<sup>2</sup> που αντιστοιχούν σε αντικατάσταση 49% της αδιαπέρατης επιφάνειας, παρατηρήθηκε 46% μείωση του όγκου απορροής αλλά 64% μείωση της παροχής αιχμής.

Ακόμη, στον Πίνακα 4.9, παρουσιάστηκε η τιμή του συντελεστή απορροής για κάθε υπολεκάνη και εναλλακτικό Σενάριο ενώ ακόμα υπολογίστηκε και το ποσοστό μείωσης του συντελεστή απορροής σε σχέση με το μηδενικό Σενάριο, για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας 6 ωρών. Στο Σενάριο 0, εφόσον η περιοχή μελέτης αποτελείται σχεδόν πλήρως από αδιαπέρατες επιφάνειες, ο συντελεστής απορροής για όλες τις υπολεκάνες βρέθηκε κοντά στο 0.9.

**Πίνακας 4.9: Συντελεστής Απορροής για κάθε υπολεκάνη και κάθε Σενάριο**

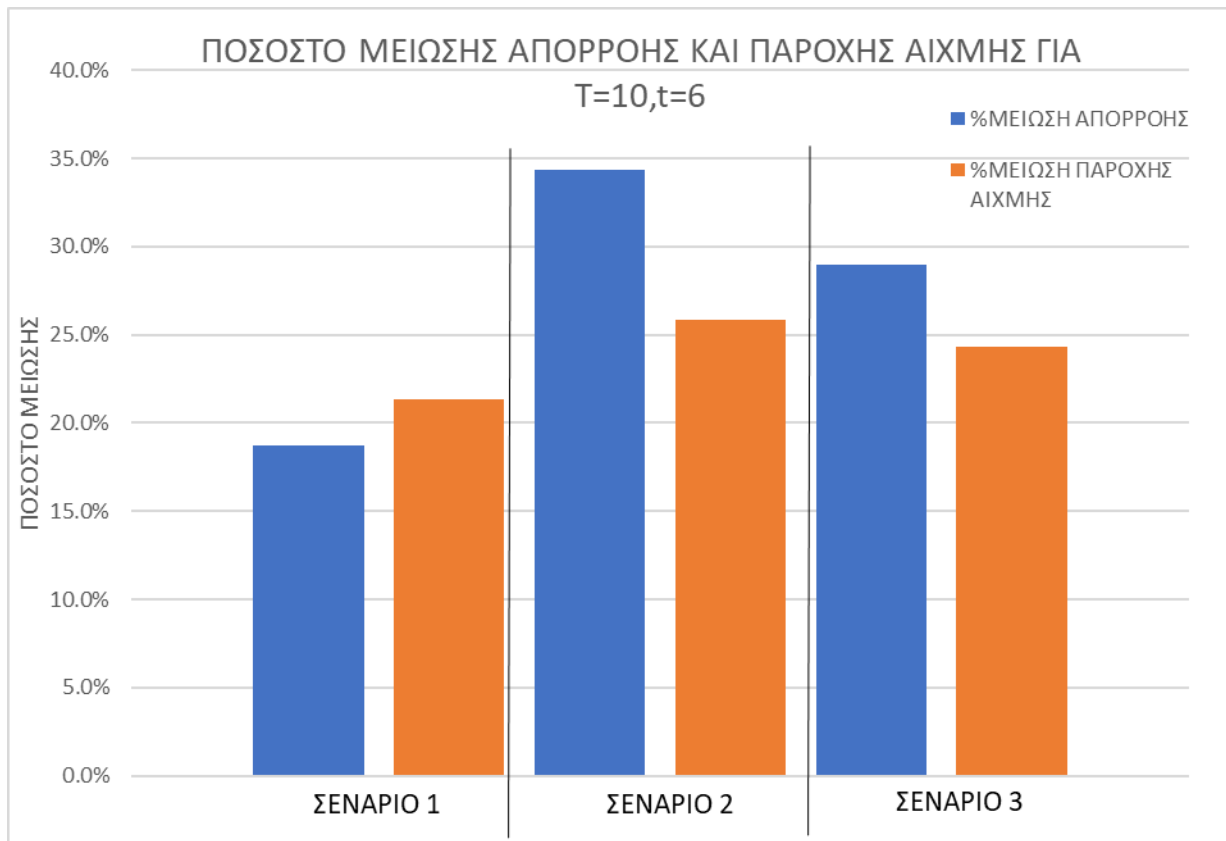
	ΣΕΝΑΡΙΟ 0	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	%ΜΕΙΩΣΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	%ΜΕΙΩΣΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 3	%ΜΕΙΩΣΗ
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΣΥΝΤ.ΑΠΟΡ.	ΣΥΝΤ.ΑΠΟΡ.		ΣΥΝΤ.ΑΠΟΡ.		ΣΥΝΤ.ΑΠΟΡ.	
S1	0.903	0.869	3.8%	0.308	65.9%	0.288	68.1%
S2	0.859	0.814	5.2%	0.769	10.5%	0.726	15.5%
S3	0.916	0.899	1.9%	0.841	8.2%	0.824	10.0%
S4	0.933	0.882	5.5%	0.801	14.1%	0.754	19.2%
S5	0.939	0.916	2.4%	0.886	5.6%	0.864	8.0%

	ΣΕΝΑΡΙΟ 0	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	%ΜΕΙΩΣΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	%ΜΕΙΩΣΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 3	%ΜΕΙΩΣΗ
<b>S6</b>	0.939	0.614	34.6%	0.789	16.0%	0.489	47.9%
<b>S7</b>	0.938	0.893	4.8%	0.671	28.5%	0.799	14.8%
<b>S8</b>	0.925	0.587	36.5%	0.548	40.8%	0.514	44.4%
<b>S9</b>	0.938	0.493	47.4%	0.600	36.0%	0.627	33.2%
<b>S10</b>	0.815	0.676	17.1%	0.439	46.1%	0.507	37.8%
<b>S11</b>	0.936	0.560	40.2%	0.549	41.3%	0.451	51.8%
<b>S12</b>	0.838	0.741	11.6%	0.395	52.9%	0.465	44.5%
<b>S13</b>	0.939	0.635	32.4%	0.285	69.6%	0.350	62.7%
<b>S14</b>	0.928	0.578	37.7%	0.381	58.9%	0.343	63.0%
<b>S15</b>	0.922	0.916	0.7%	0.800	13.2%	0.871	5.5%
<b>S16</b>	0.923	0.588	36.3%	0.368	60.1%	0.441	52.2%

Με την εφαρμογή των εναλλακτικών Σεναρίων, ο συντελεστής απορροής μειώθηκε σε όλες τις υπολεκάνες, με την μεγαλύτερη μείωση να πετυχαίνει το Σενάριο 2 με μείωση του συντελεστή απορροής σχεδόν κατά 70% για την υπολεκάνη S13. Στην συγκεκριμένη υπολεκάνη διαστασιολογήθηκαν για το Σενάριο 2, 3,243 m<sup>2</sup> περατών οδοστρωμάτων, που αντιστοιχούν σε αντικατάσταση 49% της προηγούμενης αδιαπέρατης επιφάνειας. Αυτός ο συντελεστής απορροής ήταν και ο μικρότερος για όλες τις υπολεκάνες και όλα τα Σενάρια, με τιμή 0.285. Παρατηρήθηκε μεγάλη αντιστοιχία στα ποσοστά μείωσης του όγκου και του συντελεστή απορροής, κάτι το οποίο είναι λογικό, εφόσον το λογισμικό SWMM υπολογίζει τον συντελεστή απορροής ως το πηλίκο του ύψους απορροής και της συνολικής κατακρήμνισης (Rossman, 2015). Όσο μεγαλύτερη μείωση στον όγκο απορροής, τόσο μεγαλύτερη μείωση αναμένεται και στον συντελεστή απορροής.

Η ελάχιστη μείωση συντελεστή απορροής (0.7%) εντοπίστηκε για το Σενάριο 1 και την υπολεκάνη S15, η οποία διαθέτει την μεγαλύτερη έκταση αδιαπέρατης επιφάνειας (167,700 m<sup>2</sup>) στην περιοχή μελέτης και είχε διαστασιολογηθεί μόνο μία πράσινη στέγη έκτασης 1,220 m<sup>2</sup>. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα ήταν σύμφωνα και με προηγούμενες μελέτες, όπως των Rezaei et al. (2019) και των Palermo et al. (2020), όπου διαπιστώθηκε αύξηση στον όγκο και στην αιχμή της απορροής σε περιοχές με μεγαλύτερο ποσοστό αδιαπερατότητας λόγω της αστικοποίησης. Ακόμη, όσο μεγαλύτερη αντικατάσταση της αδιαπέρατης επιφάνειας με αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, τόσο μεγαλύτερη μείωση αναμένεται στον όγκο, στην αιχμή και στον συντελεστή απορροής, το οποίο βρίσκεται σε ομοφωνία με άλλες έρευνες όπως των Samouei et al. (2020) και των Palermo et al. (2020).

Στην Εικόνα 4.11 απεικονίστηκε το ποσοστό μείωσης της επιφανειακής απορροής και της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου για τα Σενάρια 1, 2 και 3 σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο, για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ώρες.



**Εικόνα 4.11: Ποσοστό μείωσης απορροής και παροχής αιχμής για βροχόπτωση με  $T=10$ ,  $t=6$**

Το Σενάριο 2 φάνηκε να έχει την καλύτερη αποτελεσματικότητα, πετυχαίνοντας μείωση της επιφανειακής απορροής και της αιχμής παροχής σε ποσοστό 34.4% και 25.8% αντίστοιχα. Λίγο χειρότερα αποτελέσματα παρουσίασε και το Συνδυαστικό Σενάριο 3 (29% και 24%), ενώ το Σενάριο 1 κατάφερε να μειώσει την επιφανειακή απορροή μόλις κατά 18.7% και την παροχή αιχμής στον αγωγό εξόδου κατά 21.4%.

Και τα τρία Σενάρια πέτυχαν μείωση των δύο παραμέτρων. Το Σενάριο των πράσινων στεγών δεν είχε την ίδια αποτελεσματικότητα με τα άλλα δύο Σενάρια. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η συνολική έκταση των πράσινων στεγών στο Σενάριο 1 ανέρχεται στα 86,904 m<sup>2</sup>. ενώ στο Σενάριο 2 τα περατά οδοστρώματα ανέρχονται στα 100,233 m<sup>2</sup>.

Κάτι τέτοιο είχε ως αποτέλεσμα την μικρότερη αντικατάσταση αδιαπέρατων επιφανειών με τις αντίστοιχες αειφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου και έτσι να αναμένονται χειρότερα αποτελέσματα σε ότι αφορά τα ποσοστά μείωσης επιφανειακής απορροής και παροχής αιχμής (Palermo et al., 2020, Samouei et al., 2020).

Στην Εικόνα 4.12 απεικονίζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του αποχετευτικού συστήματος για όλα τα Σενάρια, για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας 6 ωρών. Και τα τρία Σενάρια, όπως ήταν αναμενόμενο, κατάφεραν να μειώσουν τον όγκο και την αιχμή παροχής στον αγωγό εξόδου του δικτύου.

Η παροχή αιχμής εμφανίστηκε 3 ώρες και 5 λεπτά μετά την έναρξη της βροχόπτωσης και εκτιμήθηκε ίση με  $5.38 \text{ m}^3/\text{s}$  για το Σενάριο 0. Για τα Σενάρια 1, η παροχή αιχμής  $4.23 \text{ m}^3/\text{s}$  εμφανίστηκε 3 ώρες και 12 λεπτά μετά την έναρξη της βροχόπτωσης, στο Σενάριο 2 η μέγιστη τιμή της παροχής  $3.99 \text{ m}^3/\text{s}$  παρουσιάστηκε μετά από 3 ώρες και 11 λεπτά ενώ στο Σενάριο 3 η παροχή αιχμής  $4.07 \text{ m}^3/\text{s}$  εμφανίστηκε 3 ώρες και 12 λεπτά μετά την έναρξη της βροχής.

Το Σενάριο 2 πέτυχε την μεγαλύτερη μείωση (25.8%) στην παροχή αιχμής, ενώ τα Σενάρια 1 και 3 πέτυχαν μικρότερη μείωση, στα 21.4% και 24.3% αντίστοιχα.

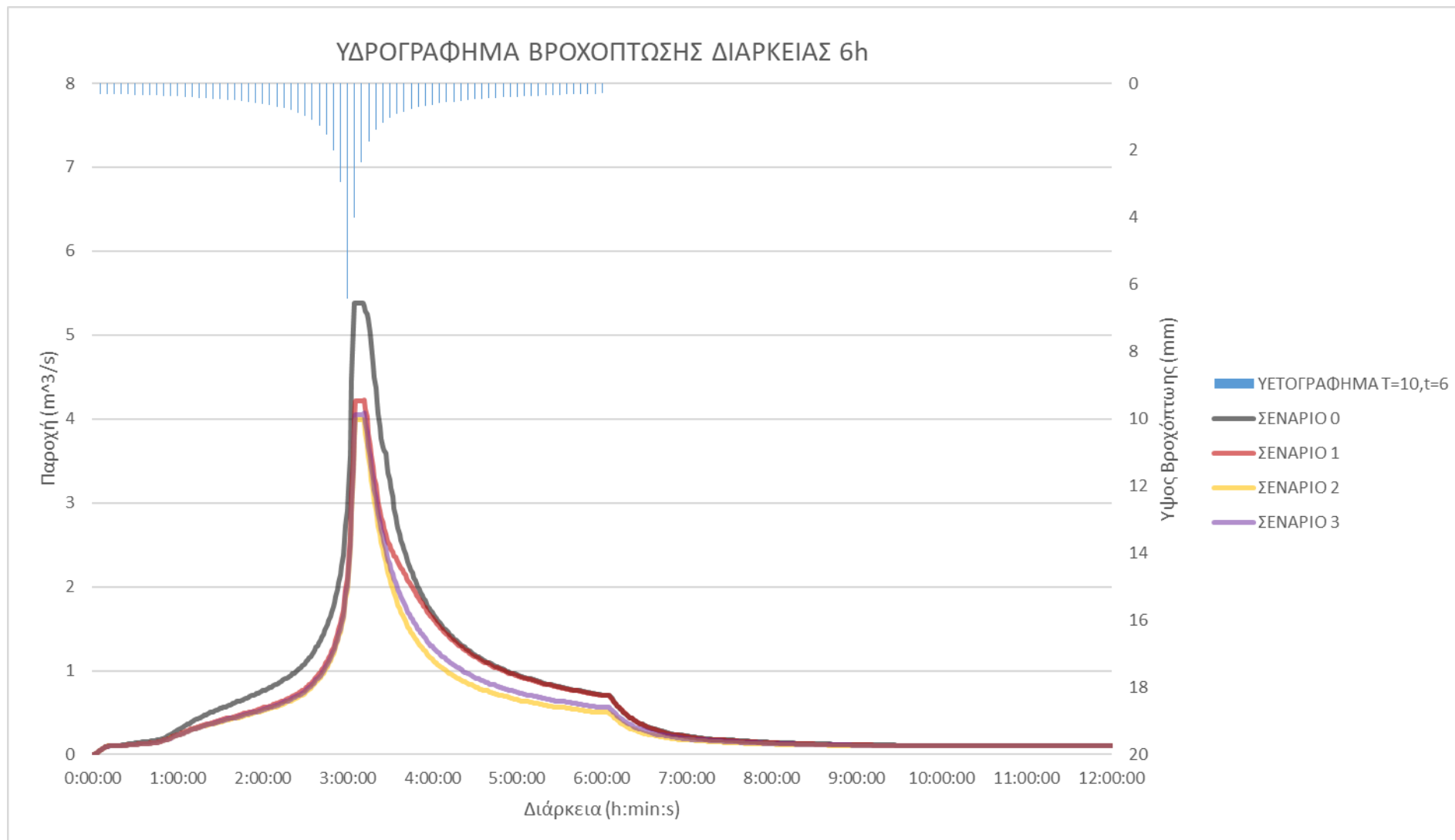
Στο Μηδενικό Σενάριο για την συγκεκριμένη βροχόπτωση, παρουσιάστηκαν 13 φρεάτια που πλημμύριζαν και προκάλεσαν όγκο πλημμύρας  $329 \text{ m}^3$  στην περιοχή μελέτης. Ακόμη, ισάριθμοι αγωγοί εμφάνισαν λόγο πλήρωσης μεγαλύτερο του 0.8. Ο συνολικός όγκος απορροής στον αγωγό εξόδου του αποχετευτικού συστήματος που υπολογίστηκε και αντιστοιχεί στα παρακάτω υδρογραφήματα για τα Σενάρια 0, 1, 2 και 3 ήταν  $30,328 \text{ m}^3$ ,  $25,831 \text{ m}^3$ ,  $21,468 \text{ m}^3$  και  $22,922 \text{ m}^3$  αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί, πως και τα τρία Σενάρια κατάφεραν να μειώσουν πλήρως τον όγκο πλημμύρας και δεν εμφανίστηκαν αγωγοί με λόγο πλήρωσης μεγαλύτερου του 0.8. Αναφορικά με τον όγκο απορροής στον αγωγό εξόδου, παρατηρήθηκε η μέγιστη μείωση (29.2%) στο Σενάριο 2 και η ελάχιστη μείωση (14.8%) στο Σενάριο 1.

Ακόμη, έχει απεικονιστεί γραφικά και το υετογράφημα βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ώρες, με χρονικό βήμα 5 λεπτά, το οποίο υπολογίστηκε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχής. Το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης ( $6.43 \text{ mm}$ ) εμφανίζεται 3 ώρες μετά την έναρξη της βροχόπτωσης.

Παρατηρήθηκε πολύ μικρή χρονική απόσταση μεταξύ της εμφάνισης της παροχής αιχμής στο υδρογράφημα και του μέγιστου ύψους βροχόπτωσης του υετογραφήματος. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, εφόσον πρόκειται για μια μικρή αστικοποιημένη λεκάνη απορροής με πολύ μεγάλο ποσοστό αδιαπερατότητας, με το μεγαλύτερο ποσοστό της βροχής να μετατρέπεται σε ενεργός βροχόπτωση.

Επίσης, μετά από 11 ώρες από την έναρξη της βροχόπτωσης, το αποχετευτικό σύστημα επανήλθε για όλα τα Σενάρια στην κανονική του λειτουργία. Παρατηρήθηκε στον αγωγό εξόδου η αποχέτευση μόνο των ακαθάρτων πια, με παροχή  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Εικόνα 4.12: Υδρογράφημα βροχόπτωσης διάρκειας 6 ωρών και περιόδου επαναφοράς 10 έτη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάλυση της αποτελεσματικότητας των πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων, ως αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης πλημμυρικών κινδύνων, μέσω της μοντελοποίησης και προσομοίωσης βροχοπτώσεων με το λογισμικό SWMM, στην Ζώνη Β του παντορροϊκού δικτύου των Αθηνών. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το ESRI QGIS, Microsoft Word, Microsoft Excel, Storm Water Management Model και το Autocad της Autodesk. Εξετάστηκαν συνολικά τέσσερα Σενάρια, το Σενάριο 0 (τωρινή κατάσταση), Σενάριο 1 (αποκλειστική χρήση πράσινων στεγών), Σενάριο 2 (αποκλειστική χρήση περατών οδοστρωμάτων) και το Σενάριο 3 (συνδυαστική χρήση πράσινων στεγών και περατών οδοστρωμάτων).

Τα τελευταία τρία Σενάρια, είχαν σκοπό την μείωση του πλημμυρικού κινδύνου στην λεκάνη απορροής. Η προσομοίωση για όλα τα Σενάρια έγινε για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10, 25 και 50 έτη και διάρκειας 1, 2, 3 και 6 ωρών. Η διαστασιολόγηση των αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου για όλα τα Σενάρια πραγματοποιήθηκε για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας 6 ωρών.

Τα συμπεράσματα από την εφαρμογή είναι τα εξής:

- Τα πρώτα πλημμυρικά φαινόμενα στο Μηδενικό Σενάριο εμφανίστηκαν για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς  $T=5$  και διάρκειας  $t=1$  ώρα, με 3 φρεάτια να πλημμυρίζουν, ενώ ακόμα και βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 5 έτη και διάρκειας 6 ωρών παρατηρήθηκε το μέγιστο των 13 φρεατίων να πλημμυρίζουν.
- Και τα τρία Σενάρια μετριασμού του πλημμυρικού κινδύνου κατάφεραν να μειώσουν την συνολική επιφανειακή απορροή και την παροχή αιχμής στην έξοδο του δικτύου, ενώ παράλληλα κατάφεραν να μειώσουν τα φρεάτια που πλημμυρίζουν και τους αγωγούς που παρουσιάζουν λόγο πλήρωσης μεγαλύτερο του 0.8.
- Το Συνδυαστικό Σενάριο 3 ήταν το φθηνότερο Σενάριο από τα τρία, και συγκεκριμένα 2% πιο φθηνό από το Σενάριο 2 και 9% πιο φθηνό από το Σενάριο 1.
- Το ακριβότερο Σενάριο ήταν αυτό με την αποκλειστική χρήση πράσινων στεγών (Σενάριο 1), όπου αν και διαστασιολογήθηκε συνολικά η μικρότερη έκταση αιεφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (20% αντικατάσταση αδιαπέρατης επιφάνειας), εν τέλει λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής/ $m^2$  των πράσινων στεγών, κατέληξε να είναι το πιο κοστοβόρο. Παράλληλα, το Σενάριο 1 είχε μακράν και τα χειρότερα αποτελέσματα όσον αφορά την μείωση της επιφανειακής απορροής (18.7%) και της παροχής αιχμής (21.4%) στον αγωγό εξόδου για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ωρών.
- Το Σενάριο 2 παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την μείωση της επιφανειακής απορροής, με συνολική μείωση της τάξης του 34% σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 έτη και διάρκειας 6 ώρες, 5% καλύτερο από το Σενάριο 3 ενώ ήταν μόλις 2% πιο ακριβό από αυτό. Επίσης, ανά 1,000,000 ευρώ κόστους κατασκευής, το Σενάριο 2 πάλι φάνηκε να είναι το πιο



αποτελεσματικό σε ότι αφορά το ποσοστό μείωσης της απορροής. Το Σενάριο 2 κρίθηκε ως το πιο αποτελεσματικό Σενάριο από τα τρία και η τιμή του σε σχέση με τα άλλα Σενάρια βρίσκεται σε λογικά πλαίσια.

- Στο Σενάριο 2 παρατηρήθηκε συστηματικά η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση της παροχής αιχμής στον αγωγό εξόδου του αποχετευτικού συστήματος κατά τη διάρκεια όλων των βροχοπτώσεων σε σχέση με το Μηδενικό Σενάριο και συγκεκριμένα η μέγιστη μείωση της τάξης των 32.9% διαπιστώθηκε για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 έτη και διάρκειας 2 ώρες.
- Ακόμη, στο Σενάριο 2 παρατηρήθηκαν οι λιγότεροι αγωγοί με λόγο πλήρωσης μεγαλύτερου του 0.8 και τα λιγότερα πλημμυρισμένα φρεάτια σε όλες τις βροχοπτώσεις που προσομοιώθηκαν σε σχέση με τα υπόλοιπα Σενάρια.
- Και τα τρία εναλλακτικά Σενάρια, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσίασαν σοβαρά προβλήματα στην αντιμετώπιση ακραίων καταιγίδων, με την κατάσταση των αποχετευτικών συστημάτων στις προσομοιώσεις να μην έχει μεγάλες διαφορές από το Μηδενικό Σενάριο για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 50 ετών. Η αποτελεσματικότητα των αιφόρων πρακτικών διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου μειώθηκε δραματικά με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς βροχοπτώσεων, με σχεδόν όλα τα φρεάτια να πλημμυρίζουν και αγωγούς να παρουσιάζουν λόγο πλήρωσης μεγαλύτερου του 0.8, όπως έχει διαπιστωθεί και σε προηγούμενες μελέτες των Samouei et al. (2020), Μπούκας (2019) και Παπούλια (2022).
- Ο όγκος απορροής και η παροχή αιχμής για κάθε υπολεκάνη επηρεάστηκε άμεσα από το ποσοστό αντικατάστασης της αδιαπέρατης επιφάνειας με πράσινες στέγες ή περατά οδοστρώματα. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό αντικατάστασης, τόσο καλύτερα αποτελέσματα αναμένουμε όσον αφορά την ποσοστιαία μείωση του όγκου απορροής και της παροχής αιχμής. Ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο, ο συντελεστής απορροής μειώθηκε δραματικά σε όλες τις υπολεκάνες και στα τρία εναλλακτικά Σενάρια, με μέγιστη μείωση έως και 70% στο Σενάριο 2.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.

Ahiablame L., Shakya R. (2016). Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale, *Journal of Environmental Management*, 171, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>

Ahiablame, L.M., Engel, B.A., Chaubey, I. (2012). Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research, *Water Air Soil Pollution*, 223, 4253–4273. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2>

Angelakis A.N., Koutsoyiannis D., Tchobanoglous G. (2005). Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece, *Water Research*, 39, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.08.033>

Barbosa A.E., Fernandes J.N., David L.M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management, *Water Research*, 46, 6787-6798. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.029>

Bedan E.S., Clause J.C. (2009). Stormwater Runoff Quality and Quantity From Traditional and Low Impact Development Watersheds, *Journal of the American Water Resources Association*, 45, 998-1008. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2009.00342.x>

Bengtsson L., Grahn L., Olsson J. (2005). Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden, *Hydrology Research*, 36, 259-268. <https://doi.org/10.2166/nh.2005.0019>

Berndtsson J.C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review, *Ecological Engineering*, 36, 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

Brattebo B.O., Booth D.B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems, *Water Research*, 37, 3469-4376. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00410-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00410-X)

Chen W., Zheng M., Gao Q., Deng C., Ma Y., Ji G. (2021). Simulation of surface runoff control effect by permeable pavement, *Water Science Technology*, 83, 948-960. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.027>

Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 572.

CIRIA, 2015. *The Suds Manual*. London, United Kingdom: Ciria Report No. C753.

Cristiano E., Urru S., Farris S., Ruggiu D., Deidda R., Viola F. (2020). Analysis of potential benefits on flood mitigation of a CAM green roof in Mediterranean urban areas, *Building and Environment*, 183, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107179>

Damodaram C., Giacomoni M.H., Khedun P., Holmes H., Ryan A., Saour W., Zechman E.M. (2010). Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management, *Journal of the American Water Resources Association*, 46, 907-918. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00462.x>

Dietz M.E. (2007). Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions, *Water Air Soil Pollution*, 186, 351–363. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9484-z>

Dreelin E.A., Fowler L., Carroll C.R. (2006). A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events, *Water Research*, 40, 799-805. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.002>

Eckart K., McPhee Z., Bolisetti T. (2017). Performance and implementation of low impact development – A review, *Science of The Total Environment*, 607-608, 413-432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>

Ercolani G., Chiaradia E.A., Gandolfi C., Castelli F., Masseroni D. (2018). Evaluating performances of green roofs for stormwater runoff mitigation in a high flood risk urban catchment, *Journal of Hydrology*, 566, 830-845. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.050>

Feng, B., Zhang, Y., Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models, *Natural Hazards* 106, 613–627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>

Getter K.L., Rowe D.B., Andresen J.A. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention, *Ecological Engineering*, 31, 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.004>

Hollis G.E. (1975). The effect of urbanization on floods of different recurrence interval, *Water Resources Research*, 11, 431-435. <https://doi.org/10.1029/WR011i003p00431>

Hydro International (2022). The Many Names of Low Impact Development.

Kosareo L., Ries R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs, *Building and Environment*, 42, 2606-2613. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.019>

Kourtis I.M., Tsihrintzis V.A., Baltas E. (2018). Simulation of Low Impact Development (LID) Practices and Comparison with Conventional Drainage Solutions, *Proceedings*, 2, 640. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110640>

Kourtis I.M., Tsihrintzis V.A., Baltas E. (2020). A robust approach for comparing conventional and sustainable flood mitigation measures in urban basins, *Journal of Environmental Management*, 269, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110822>

Kuoppamaki K. (2021). Vegetated roofs for managing stormwater quantity in cold climate, *Ecological Engineering*, 171, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106388>

- Metens J., Raes D., Hermy M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21<sup>st</sup> century?, *Landscape and Urban Planning*, 77, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Mimikou M., Baltas E., Varanou E. (2000). A Study of Extreme Storm Events in the Athens Greater Area.
- Obla K. (2010). Pervious Concrete – An overview, *Indian Concrete Journal*, 84.
- Ong S.K., Wang K., Ling Y., Shi G. (2016). Pervious concrete physical characteristics and effectiveness in stormwater pollution reduction.
- Palermo S., Vito T., Michele T. (2020). On the LID systems effectiveness for urban stormwater management: case study in Southern Italy, *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 410, DOI 10.1088/1755-1315/410/1/012012
- Pilon B.S., Tyner J.S., Yoder D.C., Buchanan J.R. (2019). The Effect of Pervious Concrete on Water Quality Parameters: A Case Study, *Water*, 11, 263. <https://doi.org/10.3390/w11020263>
- Pyke C., Warren M.P., Johnson T., LaGro J. Jr., Scharfenberg J., Groth P., Freed R., Schroer W., Main E. (2011). Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change, *Journal of Environmental Management*, 103, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.006>
- Renterghem T.V., Botteldooren D. (2014). Influence of rainfall on the noise shielding by a green roof, *Building and Environment*, 82, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.025>
- Rodrigues P.C., Braga N., Arruda E., Corderio L., Melo G. (2022). Effect of pore characteristics on the sound absorption of pervious concretes, *Case Studies in Construction Materials*, 17, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01302>
- Rossman L.A., 2015. Storm Water Management Model User's Manual, Version 5.1, United States, Environmental Protection Agency.
- Samouei S., Ozger M. (2020). Evaluating the performance of low impact development practices in urban runoff mitigation through distributed and combined implementation, *Journal of Hydroinformatics*, 22, 1506-1520. <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.054>
- Shafique M., Kim R., Rafiq M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>
- Shuster W.D., Bonta J., Thurston H., Warnemuende E., Smith D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review, *Urban Water Journal*, 2, 253-275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>
- Soulis K.X., Ntoulas N., Nektarios P.A., Kargas G. (2017). Runoff reduction from extensive green roofs having different substrate depth and plant cover, *Ecological Engineering*, 102, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.031>

Suresh A., Pekkat S., Subbiah S. (2023). Quantifying the efficacy of Low Impact Developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change, *Sustainable Cities and Society*, 95, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104601>

Tam B.Y., Gough W.A., Mohsin T. (2015). The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation, *Urban Climate*, 12, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.12.004>

Tennis P., Michael L., David A. (2004). *Pervious Concrete Pavements*.

Twohig C., Casali Y., Aydin N.Y. (2022). Can green roofs help with stormwater floods? A geospatial planning approach, *Urban Forestry & Urban Greening*, 76, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127724>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations.

United States Environmental Protection Agency (2023). *Polluted Runoff: Nonpoint Source (NPS) Pollution*. <https://www.epa.gov/nps/nonpoint-source-urban-areas> (Accessed 20/12/2023).

United States Environmental Protection Agency (2023). *Soak Up the Rain: Permeable Pavement*. <https://www.epa.gov/soakuptherain/soak-rain-permeable-pavement> (Accessed 20/12/2023).

United States Environmental Protection Agency (2023). *Using Green Roofs to Reduce Heat Islands*. <https://www.epa.gov/heatislands/using-green-roofs-reduce-heat-islands> (Accessed 20/12/2023)

United States General Services Administration (2011). *The Benefits and Challenged of Green Roofs on Public and Commercial Buildings*.

United States General Services Administration (2021). *Green Roofs*. <https://www.gsa.gov/governmentwide-initiatives/federal-highperformance-green-buildings/resource-library/integrative-strategies/green-roofs> (Accessed 20/12/2023).

Upper Midwest Water Science Center (2019). *Evaluating the potential benefits of permeable pavement on the quantity and quality of stormwater runoff*. <https://www.usgs.gov/centers/upper-midwest-water-science-center/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement#overview> (Accessed 20/12/2023).

Vogel J., Stringer A., Beem M. (2017). *Understanding Stormwater Runoff and Low Impact Development (LID), Oklahoma*.

Wang X., Li H., Sodoudi S. (2022). The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort, *Building and Environment*, 217, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082>

Yang J., Jiang G. (2003). Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, *Cement and Concrete Research*, 33, 381-386. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00966-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00966-3)

Zahmatkesh Z., Burian S.J., Karamouz M., Tavakol-Davani H., Goharian E. (2014). Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff: Case Study of New York City, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000770](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000770)

Zhang D., Shou Y., Dickerson R. (2009). Upstream urbanization exacerbates urban heat island effects, *Geophysical Research Letters*, 36, <https://doi.org/10.1029/2009GL041082>

Zhang S., Lin Z., Zhang S., Ge D. (2021). Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations, *Journal of Environmental Management*, 291, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112682>

Zhang Y., Li H., Abdelhady A., Yang J. (2020). Effect of different factors on sound absorption property of porous concrete, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102532>

Zheng X., Zou Y., Lounsbury A.W., Wang C., Wang R. (2021). Green roofs for stormwater runoff retention: A global quantitative synthesis of the performance, *Resources, Conservation and Recycling*, 170, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105577>

Zhou Q., Leng G., Su J., Ren Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation, *Science of The Total Environment*, 658, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>

Zhou Y., Kong Y., Wang H., Luo F. (2020). The impact of population urbanization lag on eco-efficiency: A panel quantile approach, *Journal of Cleaner Production*, 244, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118664>

#### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2015). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, ΥΠΕΚΑ.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2016). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας, ΥΠΕΚΑ.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2021).

ΕΥΔΑΠ (2009). Κανονισμός Λειτουργίας Δικτύου Αποχέτευσης (Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας).

Ιωσηφίδης Β. (2010). Αποχετεύσεις, Θεσσαλονίκη.

Κουτσογιάννης Δ. (1997). Στατιστική Υδρολογία, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ. (2011). Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ., Μαρκόνης Ι., Κουκουβίνος Α., Παπαλεξίου Σ.Μ., Μαμάσης Ν., Δημητριάδης Π. (2010). Υδρολογική Μελέτη ισχυρών βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Κηφισού, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ. (2016). Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 4, Αθήνα.

Μπούκας Ε.Κ. (2019). Έλεγχος αποτελεσματικότητας εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης όμβριων υδάτων σε αστικές λεκάνες με τη χρήση του λογισμικού SWMM, Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ (2000). Θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.

Οδηγία 2007/60/ΕΚ (2007). Αξιολόγηση και Διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Π.Δ. 696/74 (1974). Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβήν κ.λ.π. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών Έργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών εργασιών και των σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών.

Παπούλια Α. (2022). Έλεγχος αποτελεσματικότητας αειφόρων πρακτικών μετριασμού του πλημμυρικού κινδύνου (LID) στο παντορροϊκό δίκτυο της Αθήνας, Ζώνη Β', με τη χρήση του λογισμικού SWMM, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Τσακίρης Γ. (2010). Υδραυλικά Έργα-Σχεδιασμός και Διαχείριση (Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα), Αθήνα.

## Παράρτημα Α:

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται όλα τα υετογραφήματα σχεδιασμού για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 2, 5, 10 και 50 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 6 και 12 ώρες.



Εικόνα Α.1: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=1h





Εικόνα Α.2: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=2h



Εικόνα Α.3: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=3h



**Εικόνα Α.4: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=2 και t=6h**



**Εικόνα Α.5: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=1h**



Εικόνα Α.6: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=2h



**Εικόνα Α.7: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=3h**



**Εικόνα Α.8: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=5 και t=6h**



Εικόνα Α.9: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=1h





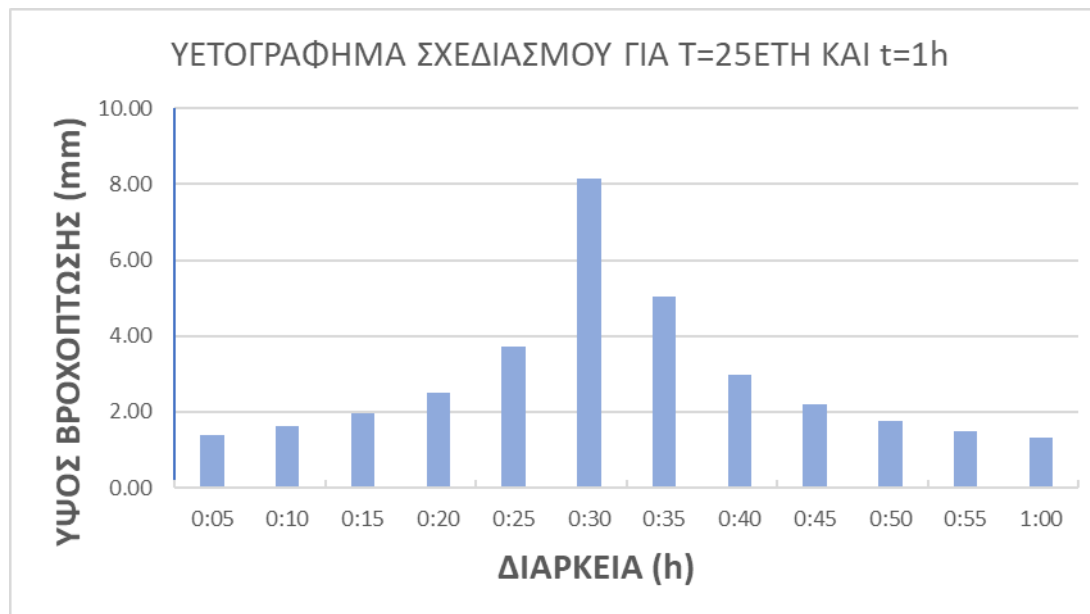
Εικόνα Α.10: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=2h



Εικόνα Α.11: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=3h



Εικόνα Α.12: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=10 και t=6h



Εικόνα Α.13: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=1h



Εικόνα Α.14: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=2h



**Εικόνα Α.15: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=3h**



Εικόνα Α.16: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=25 και t=6h



Εικόνα Α.17: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=1h





Εικόνα Α.18: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=2h



**Εικόνα Α.19: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=3h**



Εικόνα Α.20: Υετογράφημα Σχεδιασμού T=50 και t=6h

