



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**«Ενδυναμώνοντας την Ανθεκτικότητα των Πόλεων έναντι των
Πλημμυρών: Στρατηγικές και Πρακτικές»**

Συγγραφέας:

Ιωάννης Χρυσόχοος

ΑΜ: 18391050

Επιβλέπουσα:

Ελισάβετ Φελώνη

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

Diploma Thesis

«Enhancing urban resilience to floods: Strategies and Practices»

Student name and surname:

Ioannis Chrysochoos

Registration Number: 18391050

Supervisor name and surname:

Elissavet Feloni

Athens, October 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τίτλος εργασίας:

«Ενδυναμώνοντας την Ανθεκτικότητα των Πόλεων έναντι των Πλημμυρών:
Στρατηγικές και Πρακτικές»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΟΝΟΜΑ - ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ ΦΕΛΩΝΗ	ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΟΥΣΑ ΠΑΔΑ	
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΛΟΥΠΗΣ	ΜΕΛΟΣ ΕΕ ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΔΑ	
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ	ΜΕΛΟΣ ΕΕ ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΔΑ	

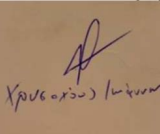
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χρυσόχοος Ιωάννης του Ευάγγελου με αριθμό μητρώου 18391050 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Χρυσόχοος Ιωάννης

Χρυσόχοος Ιωάννης

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέπουσας

Ε. Φελώνη, Διδάσκουσα ΠΑΔΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Ελισσάβητ Φελώνη, για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και υποδείξεις που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής και καθηγητές του τμήματος, Αναπλ. Καθ. κ. Χλούπη και Επικ. Καθ. κ. Παπαντωνίου.

Κατόπιν, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την στήριξη που μου παρείχαν, καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται αρχικά μια εκτενής βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με το φαινόμενο των πλημμυρών, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις αστικές πλημμύρες. Στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη λύσεων που θα ενδυναμώσουν τις πόλεις έναντι του επικίνδυνου αυτού φαινομένου.

Αρχικά, αναλύεται η έννοια της πλημμύρας και άλλες σχετικές βασικές έννοιες όπως η τρωτότητα και ο κίνδυνος, ενώ το φαινόμενο κατηγοριοποιείται με βάση τις αιτίες που το προκαλούν. Διαπιστώνεται ότι, εκτός από την κλιματική αλλαγή και την αύξηση της συχνότητας βροχοπτώσεων υψηλής ραγδαιότητας, οι αστικές περιοχές γίνονται ιδιαίτερα ευάλωτες σε πλημμύρες κυρίως λόγω του ανθρώπινου παράγοντα, όπως αποδεικνύεται από πολλά διεθνή και εγχώρια παραδείγματα.

Η σημερινή κατάσταση των πόλεων είναι αποθαρρυντική, καθώς τα χαρακτηριστικά που καθιστούν μια πόλη ανθεκτική σπάνια συναντώνται στις σύγχρονες οικιστικές ζώνες. Παρά τις οδηγίες και τις προτάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μέτρα προστασίας και την υιοθέτηση του πνεύματος της αειφορίας, η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη.

Ένα από τα προτεινόμενα μέτρα είναι τα Συστήματα Ήπιας Αντιπλημμυρικής Προστασίας (SuDS), η χρήση των οποίων κρίνεται πλέον επιτακτική για την ομαλή λειτουργία μιας πρότυπης πόλης σε έναν κόσμο όπου η κλιματική αλλαγή γίνεται ολοένα και πιο έντονη. Τα SuDS κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τόπο και την κλίμακα εφαρμογής τους και χαρακτηρίζονται από την ταχεία εγκατάστασή τους και την απλή, εύχρηστη λειτουργία τους, που μιμείται τις φυσικές διαδικασίες.

Λαμβάνοντας υπόψη τις πράσινες μεθόδους, πολλά κράτη, με πρωτοπόρο την Κίνα, έχουν ήδη ξεκινήσει να εφαρμόζουν μαζικά ανάλογες λύσεις, μετατρέποντας τις ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα πόλεις τους σε αστικές απορροφητικές ζώνες, γνωστές και ως «πόλεις-σφουγγάρια».

Λέξεις-κλειδιά: Πλημμύρες, Αστικές Πλημμύρες, Κλιματική Αλλαγή, Πλημμυρική Τρωτότητα, Πλημμυρική Επιδεκτικότητα, Κίνδυνος Πλημμύρας, Συστήματα Ήπιας Αντιπλημμυρικής Προστασίας, Αειφορία, Πόλεις-Σφουγγάρια, Αστικές Περιοχές, Ανθεκτικότητα

ABSTRACT

This diploma thesis initially conducts an extensive literature review on the phenomenon of floods, with a particular focus on urban flooding. The aim of the study is to highlight solutions that will strengthen cities against this dangerous phenomenon.

Initially, the concept of flooding and other related basic concepts such as vulnerability and risk are analyzed, while the phenomenon is categorized based on the causes that trigger it. It is observed that, apart from climate change and the increased frequency of high-intensity rainfall, urban areas become particularly vulnerable to floods mainly due to human factors, as evidenced by many international and domestic examples.

The current state of cities is discouraging, as the characteristics that make a city resilient are rarely found in modern urban zones. Despite the European Union's guidelines and proposals for protective measures and the adoption of sustainability principles, their implementation is limited.

One of the proposed measures is the Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS), the use of which is now considered imperative for the smooth functioning of a model city in a world where climate change is becoming increasingly prominent. SuDS are categorized according to their location and scale of application and are characterized by their rapid installation and simple, user-friendly operation, which mimics natural processes.

Considering green methods, many countries, with China at the forefront, have already begun to massively implement similar solutions, transforming their flood-vulnerable cities into urban absorptive zones, also known as "sponge cities."

Keywords: Floods, Urban Flooding, Climate Change, Flood Vulnerability, Flood Susceptibility, Flood Risk, Sustainable Drainage Systems (SuDS), Sustainability, Sponge Cities, Urban Areas, Resilience

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	<i>i</i>
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	<i>ii</i>
ABSTRACT.....	<i>iii</i>
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	<i>iv</i>
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας	1
1.2 Διάρθρωση τεύχους	1
1.3 Θεωρητικό πλαίσιο πλημμύρας	2
1.3.1 Ορισμοί	5
1.3.2 Αίτια των πλημμυρών	7
1.3.3 Είδη πλημμύρας – Ταξινόμηση	9
2 ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΟΛΕΩΝ	14
2.1 Αίτια πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον	14
2.2 Διεθνή παραδείγματα αστικών πλημμυρών	18
2.3 Αίτια τρωτότητας ελληνικών πόλεων και ενδεικτικά παραδείγματα	20
2.4 Το παράδειγμα του λεκανοπεδίου Αττικής	25
2.4.1 Γεωμορφολογία του εδάφους	25
2.4.2 Υδρογραφικό δίκτυο	26
2.4.3 Χρήσεις γης	30
3 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΟΛΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	34
3.1 Σημερινή κατάσταση.....	34
3.2 Στροφή στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας έναντι πλημμυρών.....	35
3.2.1 Ορισμός της ανθεκτικότητας	35
3.2.2 Αστική ανθεκτικότητα	35
3.3 Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία περί πλημμυρών.....	36
3.3.1 Τα βασικά στάδια υλοποίησης	37

3.3.2	Βασικές αρχές οδηγίας	37
3.4	Σύγχρονα μέτρα προσαρμογής- Η έννοια των SuDS	38
3.4.1	SuDS Ήπιας διαχείρισης όμβριων στην πηγή	42
3.4.2	SuDS Ήπιας διαχείρισης όμβριων σε επίπεδο γειτονιάς	58
3.5	Αντιπλημμυρικά έργα μεγάλης έκτασης	69
3.5.1	Διευθέτηση αστικών ποταμών.....	69
3.5.2	Αντιπλημμυρικά φράγματα	70
3.6	Λύσεις θωράκισης σε έκτακτες συνθήκες	71
3.6.1	Πτυσόμενα τοιχία.....	72
3.6.2	Φουσκωτά φράγματα	73
3.7	Το διεθνές παράδειγμα: «Πόλεις σφουγγάρια – Σύστημα S.D.C» (case study Κίνα)	74
3.7.1	Ορισμός.....	74
3.7.2	Στόχος της καινοτομίας.....	75
3.7.3	Τρόπος λειτουργίας – Παράδειγμα.....	76
3.8	Βέλτιστες πρακτικές εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου	79
4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
4.1	Σύνοψη.....	81
4.2	Συμπεράσματα	82
4.3	Προτάσεις.....	83
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		85
Ελληνική βιβλιογραφία.....		85
Αγγλική βιβλιογραφία		88
Διαδικτυακές πηγές		88

Ευρετήριο εικόνων

Σχήμα 1: Συνολικός αριθμός πληγέντων ανά είδος καταστροφών από το 2000-2019 (Πηγή: Αρμενιάκου, 2021 από International Disaster Database).	3
Σχήμα 2: Ποσοστό εμφάνισης καταστροφών για την περίοδο 2000-2019 (Πηγή: Αρμενιάκου, 2021 από International Disaster Database).	4
Σχήμα 3: Αριθμός των καταστροφών κατανεμημένων ανά είδος φυσικής καταστροφής για την χρονική περίοδο 2000-2019 (Δεδομένα από International Disaster Database). ...	4
Σχήμα 4: Καταγεγραμμένος αριθμός πληγέντων ανά εκατομμύρια κατά την περίοδο 2000-2019 (Δεδομένα από International Disaster Database).	5
Σχήμα 5: Επιμέρους χαρακτηριστικά ευάλωτων σημείων ιδιοκτησιών - αίτια τρωτότητας αστικών υποδομών (Πηγή: Feloni, 2019).	17
Σχήμα 6: Η πόλη Wehiel της Σαξωνίας στις 4 Ιουνίου 2013, μετά από θραύση των αναχωμάτων του ποταμού Elbe (Πηγή: Archimedes.gr).	20
Σχήμα 7: Το ύψος του νερού (προσωπικό αρχείο).	22
Σχήμα 8: Φραγμένο φρεάτιο από φερτά υλικά (προσωπικό αρχείο).	23
Σχήμα 9: Ημιφραγμένο φρεάτιο κατά την διάρκεια αποστράγγισης (προσωπικό αρχείο).	23
Σχήμα 10: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Λεκανοπεδίου Αττικής (Πηγή: Μανίκα, 2021). ..	26
Σχήμα 11: Λεκάνες αποροής Λεκανοπεδίου Αττικής (Πηγή: MASTER PLAN-mpattiki).29	
Σχήμα 12: Χρήσεις γης Λεκανοπεδίου Αττικής (Πηγή: MASTER PLAN).	31
Σχήμα 13: Αδιαπερατότητα επιφανειών Αττικής (Πηγή: Feloni, 2019; didaktorika.gr). 32	
Σχήμα 14: Παράδειγμα Low Impact Development (Πηγή: hrgreen.com).	40
Σχήμα 15: Water sensitive urban design (Πηγή: watersensitivecities).	40
Σχήμα 16: Ποταμός Meisha Corridor, Haikou City, 2016 (Πηγή: ajlajournal).	41
Σχήμα 17: Οι στρώσεις των πράσινων στεγών και η κατακράτησή τους (Πηγή: Λεβέντης, 2023).	44
Σχήμα 18: Εφαρμογή πράσινης στέγης σε αστικό ιστό (Πηγή: emymonoseis.gr).	44
Σχήμα 19: Πράσινη στέγη στο ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (Πηγή: reni.gr).	45
Σχήμα 20: Διατομή κήπου βροχής σε επίπεδο πηγής (Πηγή: Λεβέντης, 2023).	46
Σχήμα 21: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κήπου βροχής στον δρόμο (Πηγή: dasarxeio.com).	47
Σχήμα 22: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κήπου βροχής σε πεζοδρόμιο (Πηγή: dasarxeio.com). 48	
Σχήμα 23: Κήπος βροχής σε περιβάλλον βροχόπτωσης (Πηγή: dasarxeio.com).	49
Σχήμα 24: Τυπικό σύστημα υπόγειας δεξαμενής (Πηγή: Λεβέντης, 2023).	50
Σχήμα 25: Υπόγεια δεξαμενή στη Βαρκελώνη (Πηγή: προσωπικό αρχείο Φελώνη Ε.)....	51
Σχήμα 26: Πλαστικές διατρητές δεξαμενές (Πηγή: Πριάρη, 2016; Sudsdrain, 2012b). ...	52
Σχήμα 27: Τυπική Διατομή τάφρου διήθησης (Πηγή: Λεβέντης, 2023).	53

Σχήμα 28: Τάφος διήθησης σε κύριο οδικό άξονα της Αγγλίας (Πηγή: Πριάρη, 2016;Yu 2013).....	54
Σχήμα 29: Τάφος διήθησης στο πάρκο La Marjal της Ισπανίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο Φελώνη Ε.).....	55
Σχήμα 30: Διάγραμμα french drain (Πηγή: eppconcrete.com).....	57
Σχήμα 31: Εξωτερική άποψη του συστήματος (Πηγή: whenappearancematters.com)..	57
Σχήμα 32: Σχεδιάγραμμα διατομής ενός περατού πεζοδρομίου (Πηγή: Λεβέντης, 2023; Qin 2020).....	59
Σχήμα 33: Διατομή περατού πεζοδρομίου (Πηγή: dreamstime.com).	60
Σχήμα 34: Περατό πεζοδρόμιο στο πάρκο La Marjal της Ισπανίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο Φελώνη Ε.).....	61
Σχήμα 35:Είδη εδαφών και διαπερατότητα.(Πηγή: Πριάρη, 2016).....	62
Σχήμα 36: Κατανεμημένες οι συχνότερες διαπερατές επιφάνειες (Πηγή: Πριάρη, 2016; Prokop et al., 2011).....	63
Σχήμα 37: Πλαστικό πλέγμα με γρασίδι (Πηγή: georoniko-parko.gr).....	64
Σχήμα 38: Πλέγμα σκυροδέματος (Πηγή: devetzoglou.gr).....	64
Σχήμα 39: Πλάκες σκυροδέματος (Πηγή: προσωπικό αρχείο).	66
Σχήμα 40: Διαπερατό φυτεμένο δάπεδο (Πηγή: 123rf.com).....	67
Σχήμα 41: Τύποι ασφάλτου (Πηγή: Πριάρη, 2016; Prokop et al 2011).....	69
Σχήμα 42: Το παράδειγμα του ποταμού Κηφισού (Πηγή: michanikos.gr).....	70
Σχήμα 43: Το χωμάτινο φράγμα των Κρεμαστών (Πηγή: agrinionews).	71
Σχήμα 44: Το σύστημα Boxwall (Πηγή: idator.gr).	73
Σχήμα 45: Το φουσκωτό φράγμα Beaver (Πηγή: ivator.gr).	74
Σχήμα 46: Προϋποθέσεις εφαρμογής S.D.C. (Πηγή: Σάκκα, 2022).	76
Σχήμα 47: Τεχνίτη λίμνη στην πόλη Τσιενάν της Κίνας (Πηγή: npr.org).....	77
Σχήμα 48: Το πάρκο υγροτόπων Σάνια Ντογκαν (Πηγή: dirt.asla.org).....	78
Σχήμα 49: Sponge city concept (Πηγή: earth.org).....	79

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Τυπική ταξινόμηση τύπου και αίτιων πλημμύρας (Διακάκης, 2013).	9
Πίνακας 2: Ποσοστιαία κατανομή χαρακτηριστικών για οικίες που έχουν υποστεί ζημία λόγω πλημμύρας - Σύγκριση Κατηγοριών (Feloni, 2019).	18
Πίνακας 3: Στοιχεία υδρογραφικού δικτύου του Λεκανοπεδίου Αθηνών (Αντωνίου Β., 2002).....	27

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ενδυναμώνοντας την Ανθεκτικότητα των Πόλεων έναντι των Πλημμυρών: Στρατηγικές και Πρακτικές» στοχεύει στην παρουσίαση και ανάλυση λύσεων για την αντιπλημμυρική προστασία σε αστικές περιοχές. Ο αναγνώστης ενημερώνεται για την έννοια του πλημμυρικού φαινομένου, τη δυναμική του και τις καταστροφικές συνέπειες που μπορεί να επιφέρει.

Η εργασία αναλύει τα αίτια των αστικών πλημμυρών και παρουσιάζει τις κατηγορίες στις οποίες οι ειδικοί μελετητές έχουν διαχωρίσει το φαινόμενο, λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα και τον τόπο εκδήλωσής του. Ο κύριος κορμός της μελέτης επικεντρώνεται στην πλημμυρική επιδεκτικότητα του αστικού ιστού και την ανθεκτικότητα των σύγχρονων πόλεων έναντι των πλημμυρών.

Ο αναγνώστης ενημερώνεται για τα αίτια τρωτότητας των αστικών περιοχών και γίνεται γνώστης διαφόρων καταγεγραμμένων περιστατικών από τον διεθνή χώρο. Η εργασία εξετάζει την ελληνική πραγματικότητα μέσω παραδειγμάτων και στη συνέχεια παρουσιάζει την έννοια της ανθεκτικότητας μιας σύγχρονης πόλης έναντι των πλημμυρών.

Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή οδηγία 2007/60/EK, η οποία προτείνει τη χρήση πράσινων και αειφόρων μέτρων αντιμετώπισης πλημμυρών, όπως τα Συστήματα Ήπιας Αντιπλημμυρικής Προστασίας (SuDS). Τα SuDS αναλύονται λεπτομερώς, παρέχοντας στον αναγνώστη μια σαφή εικόνα για τη μορφή και τις υποδομές που πρέπει να διαθέτει μια σύγχρονη πόλη για να αντιμετωπίσει τις τραγικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

1.2 Διάρθρωση τεύχους

Το τεύχος χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια, ως εξής:

Το 1^ο Κεφάλαιο είναι η εισαγωγή, με την παρουσίαση του αντικειμένου της εργασίας και την αναφορά στο γενικό πλαίσιο πλημμυρών.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην πλημμυρική επιδεκτικότητα πόλεων, με την ανάλυση του προβλήματος εντός αστικού χώρου.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύεται η ανθεκτικότητα των πόλεων έναντι πλημμυρών, με την παρουσίαση και ανάλυση ενδεδειγμένων προσεγγίσεων για την θωράκιση των πόλεων, που αποτελεί και το βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο 4^ο Κεφάλαιο κατάληγουμε σε συμπεράσματα, με την σύνοψη της εργασίας και τη διατύπωση προτάσεων.

1.3 Θεωρητικό πλαίσιο πλημμύρας

Η πλημμυρά, είναι φυσικό φαινόμενο το οποίο είναι αδύνατον να εκτιμηθεί πλήρως και επακριβώς. Από την αρχαιότητα κιόλας, η μελέτη του μεγέθους και της δυναμικής των πλημμυρικών φαινομένων αποτέλεσε καίριο ζήτημα για τον άνθρωπο προκειμένου να προστατεύσει το κοινωνικό σύνολο από τις συνέπειες αυτής της φυσικής καταστροφής. Σύμφωνα με τους ιστορικούς, η προάσπιση των αστικών εκτάσεων παράλληλα με εγγειοβελτιωτικές τεχνικές στον Ελλαδικό χώρο συναντάται για πρώτη φορά κατά την μινωική και μυκηναϊκή εποχή.

Το αντιπλημμυρικό έργο της Κωπαΐδας σε συνδυασμό με το αρδευτικό και αποχετευτικό της σύστημα με χωμάτινα αναχώματα και κανάλια εκτροπής των όμβριων υδάτων θεωρούνται από τα πιο γνωστά και ξακουστά έργα της Μυκηναϊκής περιόδου. Αξίζει να σημειωθεί, το γεγονός ότι το βασικό σκέλος των σύγχρονων συστημάτων αποχέτευσης που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο έχουν Μινωικές ρίζες.

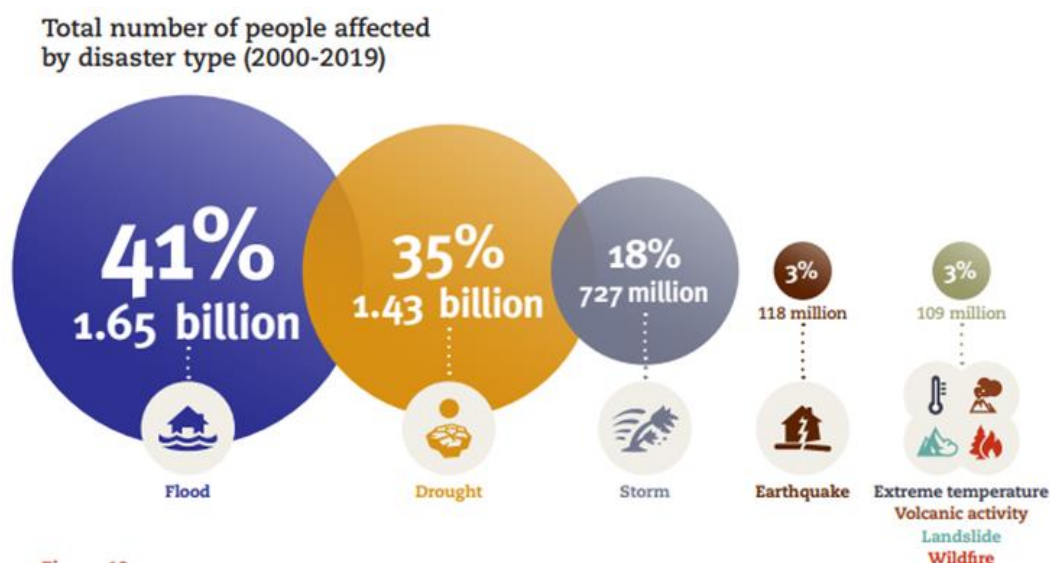
Τα θαυμαστά αυτά τεχνικά έργα, δεν κατασκευάστηκαν τυχαία. Επιστημονικές μελέτες καθώς και ιστορικές πηγές έχουν αποδείξει ότι ανά τακτά χρονικά διαστήματα οι καταστροφές από πλημμυρικά φαινόμενα ήταν ένα κοινό πρόβλημα για όλο τον κόσμο. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που ξαφνικές ή μη πλημμύρες επέφεραν καταστροφικά αποτελέσματα σε αστικές και αγροτικές περιοχές, καταστρέφοντας τις τοπικές χωροταξίες, το φυσικό κάλλος, καθώς και ολόκληρες εθνικές οικονομίες.

Το 1530 η Ευρώπη βρέθηκε αντιμέτωπη με την πλημμυρά του St. Felix η οποία καταγράφηκε ως μια από τις μεγαλύτερες της νεότερης ιστορίας, αφού μετέτρεψε την Ολλανδική πόλη Ρέιμερσβααλ σε ερείπια, με τα θύματα της να υπολογίζονται στα 100,000.

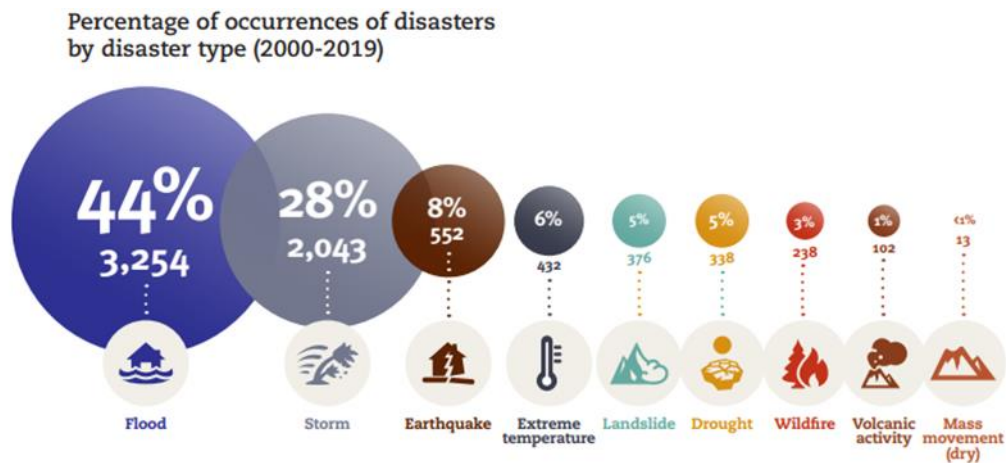
Άξια αναφοράς, είναι και τα πλημμυρικά συμβάντα του Yellow River το 1887 με 6 εκατομμύρια νεκρούς και του Yangtze River το 1931 με περίπου 3,7 εκατομμύρια νεκρούς στην Κίνα.

Κάνοντας μια ανασκόπηση των φυσικών καταστροφών στην σύγχρονη εποχή, προκύπτει ότι κατά την χρονική περίοδο 1994-2013 οι πλημμύρες ήταν το συχνότερο είδος καταστροφής. Αναλυτικότερα, το 2011, οι πλημμύρες κατέκτησαν την Τρίτη θέση στην λίστα των πιο θανατηφόρων καταστροφών με 5.000 θανάτους.

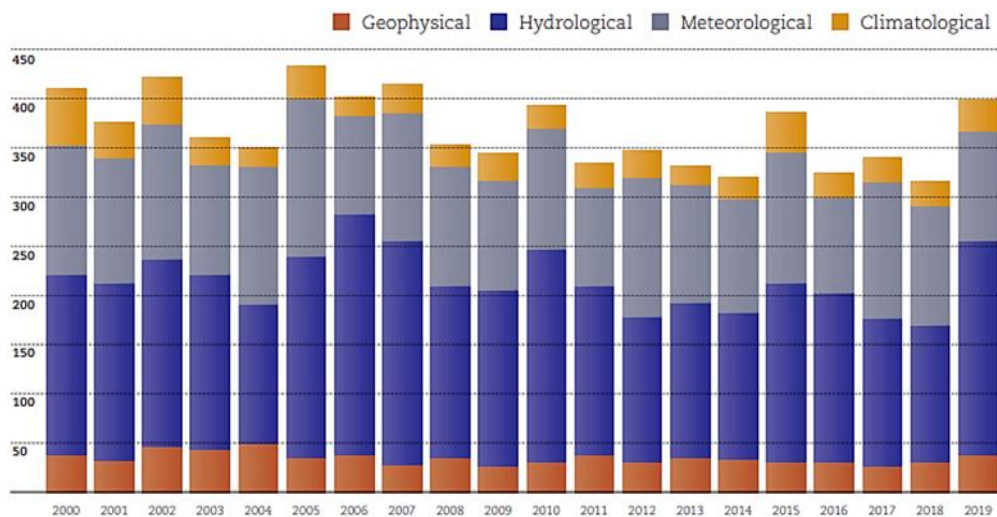
Στα Σχήματα 1 και 2, απεικονίζονται το ποσοστό των πληγέντων ανθρώπων από τις φυσικές καταστροφές (1) και το ποσοστό εμφάνισης των καταστροφών ανά είδος φυσικής καταστροφής την περίοδο 2000-2019 (2). Στο Σχήμα 3, παρουσιάζεται το σύνολο των καταστροφών ανά είδος φυσικής καταστροφής για τις χρονικές περιόδους 1980 -1999 και 2000-2019. Τέλος, στο Σχήμα 4, παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός των πληγέντων ανά εκατομμύρια για την χρονική περίοδο 2000-2019 (Πηγή: Αρμενιάκου, 2021; <https://www.undrr.org/quick/50922>).



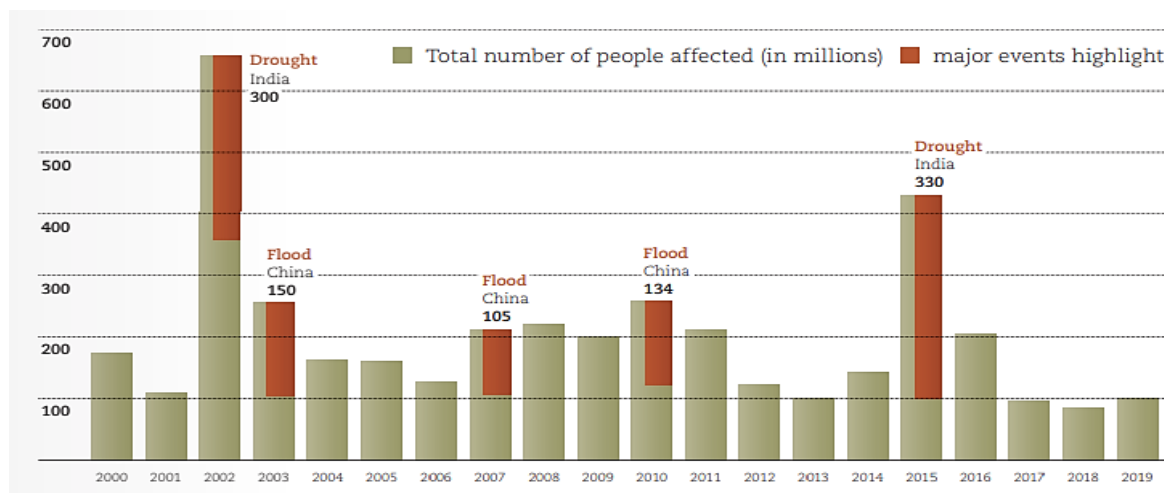
Σχήμα 1: Συνολικός αριθμός πληγέντων ανά είδος καταστροφών από το 2000-2019 (Πηγή: Αρμενιάκου, 2021 από International Disaster Database).



Σχήμα 2: Ποσοστό εμφάνισης καταστροφών για την περίοδο 2000-2019 (Πηγή: Αρμενιάκου, 2021 από International Disaster Database).



Σχήμα 3: Αριθμός των καταστροφών κατανεμημένων ανά είδος φυσικής καταστροφής για την χρονική περίοδο 2000-2019 (Δεδομένα από International Disaster Database).



Σχήμα 4: Καταγεγραμμένος αριθμός πληγέντων ανά εκατομμύρια κατά την περίοδο 2000-2019 (Δεδομένα από International Disaster Database).

Στην σύγχρονη εποχή, η κοινωνία καλείται να εκτιμήσει, να μετριάσει και να αντιμετωπίσει το φαινόμενο της πλημμυράς, το οποίο όπως έχει αναφερθεί παραπάνω έχει τη δυνατότητα να καταστρέψει ολοσχερώς ακόμα και την πιο ανεπτυγμένη μεγαλούπολη.

Προκειμένου να προστατευτεί η κοινωνία από αυτό το φαινόμενο, η πολιτεία οφείλει να αξιοποιήσει στο έπακρο την επιστημονική έρευνα, την τεχνολογία, τις γνώσεις και τις εμπειρίες που έχουν συλλεχθεί τα τελευταία χρόνια. Με αυτά τα εφόδια θα είναι δυνατή η επίτευξη της βέλτιστης διαχείρισης του φαινομένου αυτού, του οποίου η ένταση και η συχνότητα θεωρείται καλπάζουσα.

1.3.1 Ορισμοί

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις πλημμύρες (2007/60/EK), ως πλημμυρά ορίζεται «η προσωρινή κάλυψη από νερό, εδάφους, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό». «Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μέρος της φυσικής υδρολογικής διεργασίας, και συμβαίνουν όταν κατά διαστήματα, μέρος του υδρογραφικού δικτύου δεν δύναται να αποστραγγίσει τον όγκο των υδάτων που απορρέουν με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει και τα ύδατα αυτά να καταλαμβάνουν εφήμερα, τμήματα της χέρσου» (2007/60/EK).

Οι αστικές πλημμύρες συμβαίνουν κατά βάση ξαφνικά ως φυσικό φαινόμενο και κύριο αίτιο εμφάνισης τους είναι απότομες γεωπεριβαλλοντικές μεταβολές. Ωστόσο, σε δομημένο αστικό περιβάλλον, οι λανθασμένες πολεοδομικές παρεμβάσεις προκαλούν την έξαρση του φαινομένου αυτού (Διακάκης, 2013).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ως πλημμυρά ορίζουμε το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο, λόγω της αδυναμίας μια φυσικής ή τεχνητής κύριας κοίτης ενός υδατορέμματος (ή ποταμού) να απορροφήσει το εισερχόμενο νερό, καθίσταται αδύνατο, να διοχετευτεί η αυξημένη παροχή ύδατος σε κάποιο φυσικό αποδεκτή. Κατά συνέπεια, η στάθμη του ρέοντος ύδατος ανέρχεται, με αποτέλεσμα την εξάπλωση των υδάτων στις παρακείμενες περιοχές, οι οποίες υπό φυσιολογικές συνθήκες χρησιμοποιούνται για παραγωγικούς σκοπούς ή αποτελούν τον χώρο εκδήλωσης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Οι πλημμύρες είναι γενικά ένα δυναμικό και βίαιο φαινόμενο το οποίο είναι αδύνατο να προληφθεί, κάτι που το καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνο και καταστρεπτικό.

Η σημαντική ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην «υιοθέτηση μιας νοοτροπίας διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου με την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων» (Πιστρίκα, 2010).

Προκειμένου τα τεχνικά έργα να είναι αποδοτικά, επινοήθηκαν οι έννοιες του κινδύνου, της επικινδυνότητας και της τρωτότητας οι οποίες επεξηγούνται αναλυτικά στο παρόν κεφάλαιο.

A. Επικινδυνότητα (Hazard)

Ως επικινδυνότητα νοείται «η συνολική πιθανότητα εκδήλωσης ανεπιθύμητου φαινομένου με τις αρνητικές συνέπειες που θα επιφέρει σε μια περιοχή» (Διακάκης, 2013; Σαπουντζάκη & Δανδουλάκη, 2016).

Στην διατριβή της, η Πιστρίκα Ε. (2010) ορίζει την επικινδυνότητα ως μια απειλή η οποία προκαλείται είτε από φυσικό αίτιο (natural hazard), είτε από αστοχία υλικού (man-made hazard), η οποία μπορεί να προκαλέσει ζημία σε ένα φυσικό ή ανθρωπογενές σύστημα, με πιθανή συνέπεια την πρόκληση θανατηφόρου επεισοδίου.

Σύμφωνα με το πόρισμα του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη το 2019, και το Ευρωπαϊκό συμβούλιο 2007, κίνδυνος πλημμύρας θεωρείται η πιθανότητα ύπαρξης πλημμυρικού φαινομένου με άμεση συνέπεια την πρόκληση αρνητικών επιπτώσεων σε ανθρώπινο και οικονομικό επίπεδο.

B. Πλημμυρική διακινδύνευση (flood risk)

Η πλημμυρική διακινδύνευση ή αλλιώς κίνδυνος, λογίζεται ως η πιθανότητα να λάβει χώρα πλημμύρα, σε συνδυασμό όμως με τις αρνητικές συνέπειες που θα επιφέρει σε μια συγκεκριμένη περιοχή (Πιστρίκα, 2010; Διακάκης, 2013). Μονάδα μέτρησης της διακινδύνευσης αποτελούν σύμφωνα με το Υπουργείο Προστασίας του Πολίτη (2019), οι ανθρώπινες απώλειες και η οικονομική ζημία.

Γ. Τρωτότητα (Vulnerability)

Ως τρωτότητα νοείται «ο βαθμός επιδεκτικότητας ενός συστήματος φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο» (Διακάκης, 2013). Συχνά η έννοια της τρωτότητας συνδέεται με την έκθεση μίας περιοχής σε κίνδυνο και το μέτρο κοινωνικής ανθεκτικότητας (resilience) του υπό μελέτη συστήματος (Πιστρίκα, 2010).

1.3.2 Αίτια των πλημμυρών

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.3.1, μια εδαφική έκταση πλημμυρίζει όταν η χωρητικότητα ενός συστήματος αποστράγγισης, όπως η λεκάνη απορροής, αδυνατεί να παροχετεύσει τον όγκο νερού που εισέρχεται σε αυτόν, είτε μέσω βροχόπτωσης είτε από

απότομη τήξη μεγάλου όγκου χιονιού είτε από αστοχία υλικού ενός τεχνικού έργου, όπως η κατάρρευση φράγματος.

Σε αυτήν την παράγραφο αναλύονται όλα τα πιθανά αίτια μιας πλημμύρας τα οποία εντάσσονται σε δυο κατηγορίες :

➤ **Φυσικά αίτια :**

- Συσώρευση ιζημάτων: Η στερεομεταφορά και η εναπόθεση των φερτών υλών έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία εμποδίων που αποτρέπουν την αποτελεσματική συγκράτηση του νερού στις υδατοδιαδρομές. Συνεπώς, η πίεση του νερού και η στάθμη του ποταμού αυξάνονται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται το φαινόμενο της υπερχειλίσης παράλληλα με την μεταφορά φερτών υλών (όπως λάσπη, κορμοί δέντρων ή πέτρες).
- Έντονες βροχοπτώσεις: Οι ξαφνικές και έντονες βροχοπτώσεις σε μια έκταση συντελούν σε αύξηση της υδατοπαροχής. Ως άμεση συνέπεια, το έδαφος καθίσταται σε κατάσταση κορεσμού και ακολούθως η επιφανειακή απορροή αυξάνεται.
- Κλιματική αλλαγή: Οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν κατά πολύ τον υδρολογικό κύκλο.

➤ **Ανθρωπινά αίτια :**

- Η αστικοποίηση: Η πυκνή δόμηση των αστικών ζωνών οδηγεί σε εκτεταμένη χρήση αδιαπέραστων δομικών υλικών όπως το σκυρόδεμα και η άσφαλτος, τα οποία δεν επιτρέπουν την απορρόφηση των όμβριων υδάτων από το έδαφος και συντελούν στην αύξηση της άμεσης απορροής.
- Η παράνομη δόμηση: Η επιχωμάτωση των ρεμάτων και παραπόταμων για την οικοδόμηση κτηρίων και έργων οδοποιίας. Ένα ακόμη σύνηθες φαινόμενο είναι η παρεμπόδιση συλλεκτηρίων υδατοδιαδρομών με μπάζα ή εγκαταλελειμμένα οχήματα.
- Η έλλειψη σχεδιασμού: Η ανεπάρκεια έργων αντιπλημμυρικής προστασίας και απορροής όμβριων ή ελλιπής έως ανύπαρκτη συντήρησή τους (όπως τα βουλωμένα φρεάτια όμβριων), συχνά οδηγούν σε άνευ λόγου πλημμύρες.
- Οι απρεπείς γεωργικές πρακτικές: Ορισμένες γεωργικές πρακτικές αυξάνουν την ποσότητα του εκτεθειμένου εδάφους και την επιφανειακή (άμεση) απορροή. Τα ιζήματα από τη διάβρωση που προκαλείται, καταλήγουν στον πυθμένα κοντινών ποταμών ή παραπόταμων με αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση του βάθους και συνεπώς την συνεχή αύξηση του κινδύνου υπερχειλίσης του.
- Η καταστροφή δασών: Ορισμένες παράνομες ενέργειες όπως η πρόκληση δασικών πυρκαγιών ή η παράνομη υλοτομία σε δασικές εκτάσεις που βρίσκονται εντός μιας λεκάνης απορροής (κατά κύριο λόγο στα άναπτη τμήματα της), επιφέρουν αξιοσημείωτη μείωση της διηθητικής ικανότητας

της λεκάνης με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό του βρόχινου ύδατος να απορρέει στα κατάντη αντί να διηθείται.

1.3.3 Είδη πλημμύρας – Ταξινόμηση

Η κατηγοριοποίηση των πλημμυρών γίνεται με βάση δυο παράγοντες (Σαπουντζάκη & Δανδουλάκη, 2016):

α) Την ταχύτητα εκδήλωσης της πλημμύρας.

β) Τον αρχικό υποδοχέα του νερού.

Στον Πίνακα 1, γίνεται μια προσπάθεια, από τον Διακάκη (2013), τυπικής ταξινόμησης και αντιστοίχισης με τα ενδεικτικά αίτια και τις επιπτώσεις για κάθε τύπο πλημμύρας.

Οι κατηγορίες αυτές παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.

Πίνακας 1: Τυπική ταξινόμηση τύπου και αίτιων πλημμύρας (Διακάκης, 2013).

Τύπος πλημμύρας	Ενδεικτικά αίτια	Ενδεικτικές επιπτώσεις
Με βάση την ταχύτητα εκδήλωσης τους		
Πλημμύρες πεδίου	Βροχοπτώσεις	Πλημμυρικά ύδατα σε πλημμυρικά πεδία (στάσιμα ή ρέοντα)
Ξαφνικές ή Αιφνίδιες πλημμύρες (Flash Floods)	Έντονη βροχόπτωση, ιδιόμορφη γεωμορφολογία	Έντονη διάβρωση, ορμητικά ύδατα, εμπλουτισμός με εδαφικό υλικό, λασπορροές
Με βάση τον αρχικό υποδοχέα νερού		
Ποτάμιες ή χερσαίες πλημμύρες (Riverine or fluvial Floods)	Βροχόπτωση μακράς διάρκειας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία πλημμυρικών έργων	Πλημμυρικά ύδατα σε πλημμυρικά πεδία (στάσιμα ή ρέοντα)
Παράκτιες πλημμύρες (Coastal Floods)	Έντονες βροχοπτώσεις, μετεωρολογικές παλίρροιες	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο, υφαλμήρηση της αγροτικής γης
Πλημμύρες λιμνών (Lake floods / Ponding Floods)	Μεγάλες καταιγίδες, παλίρροιες	Υπερχείλιση λιμναίων υδάτων
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων (Mountain torrent floods)	Ισχυρές καταιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα εμπλουτισμένα με εδαφικό υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Πλημμύρες αστικών περιοχών (Urban Floods)	Αστοχία τεχνικών έργων, έντονη βροχόπτωση, δόμηση ρευμάτων	Πλημμυρισμένες κατασκευές
Πλημμύρα υπόγειων υδάτων (Groundwater Floods)	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου (Dam failure floods)	Καταιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου

- **Με βάση την ταχύτητα εκδήλωσης της πλημμυράς**

Πλημμύρες πεδίου

Οι πλημμύρες πεδίου, είναι πλημμύρες βραδείας εξέλιξης. Η εκδήλωση τους χαρακτηρίζεται ως αργή και σχετικά σταθερή με αποτέλεσμα να είναι προβλέψιμη και ως εκ τούτου η πολιτεία να καταστεί έγκαιρα σε θέση να λάβει τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία των πολιτών (Λίτσιου, 2021).

Ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες

Οι ξαφνικές πλημμύρες, αποτελούν και πιο καταστροφικό είδος πλημμύρας. Χαρακτηρίζονται ως ορμητικές και ραγδαίες ως προς την εξέλιξή τους. Ειδικότερα στον Ελλαδικό χώρο, θεωρούνται ως το συνηθέστερο είδος, αποτέλεσμα της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας και εδαφικού αναγλύφου, το οποίο δημιουργεί σημαντικό αριθμό ρεμάτων με στενές λεκάνες απορροής και απότομες κλίσεις οι οποίες αποτρέπουν την βραδεία αποστράγγιση τους (Λίτσιου, 2021).

Στην μελέτη του κ Μπερζιγιαννίδη, εντοπίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση του συγκεκριμένου είδους πλημμύρας. Σημαντικότερο στοιχείο, καταδεικνύεται η ένταση και η διάρκεια της βροχής. Ακολούθως, η τοπογραφία σε συνδυασμό με την ελλιπή ποσότητα φυτοκάλυψης ή την έντονη αστικοποίηση μιας περιοχής ενδέχεται να κλιμακώσουν την ένταση (Μπερζιγιαννίδης, 2007). Φυσιογραφικές περιοχές με έντονο ανάγλυφο όπως για παράδειγμα τα ορεινά τμήματα, αποτελούν ευάλωτα σημεία ως προς μια ξαφνική πλημμύρα. Η υψηλή κλίση του εδάφους σε συνδυασμό με την έντονη βροχόπτωση ευνοεί την εκδήλωση κατολισθήσεων και ροών ιζημάτων, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε πλημμύρες. Η διάρκεια και η ένταση των φαινομένων εξαρτώνται άμεσα από την επιφανειακή απορροή των υδάτων και δύναται να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές σε υποδομές και κτηριακό απόθεμα. Η διαβρωτική δράση του νερού υπονομεύει τα θεμέλια των κτηρίων, οδηγώντας σε σχηματισμό ρωγμών και καταρρεύσεις.

- **Με βάση τον αρχικό υποδοχέα του νερού**

Ποτάμιες ή χερσαίες πλημμύρες

Οι χερσαίες πλημμύρες αποτελούν υδρολογικά φαινόμενα που προκαλούνται από την υπερχειλίση υδάτων εκτός των φυσικών ή τεχνητών κοιτών τους, συνήθως ως αποτέλεσμα έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων, ταχείας τήξης χιονοσκόνης ή αστοχίας υδραυλικών έργων. Η ταχεία συγκέντρωση μεγάλων όγκων νερού εντός των λεκανών απορροής οδηγεί στην υπερχειλίση των υδάτων των παραποτάμιων περιοχών. Οι χερσαίες πλημμύρες διακρίνονται σε δυο κύριους τύπους ανάλογα με την ταχύτητα εξέλιξής τους. Από την μια πλευρά βρίσκονται οι βραδείας εξέλιξης, οι οποίες σχετίζονται με παρατεταμένες βροχοπτώσεις και αφορούν εκτεταμένες περιοχές, ενώ από την άλλη, συναντώνται οι ταχείας εξέλιξης, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την απότομη άνοδο της στάθμης των υδάτων και περιορίζονται συνήθως σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές (Βοζινάκη, 2014; Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2015).

Παράκτιες πλημμύρες

Οι παράκτιες πλημμύρες αποτελούν ένα σύνθετο φαινόμενο που προκαλείται κυρίως από την αλληλεπίδραση των ωκεανών με την ατμόσφαιρα και τη γεωσφαιρα. Οι κυριότεροι παράγοντες που τις προκαλούν είναι οι έντονοι κυματισμοί, οι μετεωρολογικές παλίρροιες και τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας όπως για παράδειγμα τα τσουνάμι. Οι καταιγίδες και οι έντονες βροχοπτώσεις, αποτελούν συχνή αιτία παράκτιων πλημμυρών, καθώς οι ισχυροί άνεμοι και η αύξηση της στάθμης της θάλασσας οδηγούν στην υπερχειλίση των παράκτιων περιοχών. Οι επιπτώσεις των παράκτιων πλημμυρών είναι πολλαπλές και περιλαμβάνουν την παρατεταμένη παρουσία στάσιμων υδάτων στις πλημμυρισμένες περιοχές, την αλλοίωση της ποιότητας των παράκτιων υδάτων και την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων, με σοβαρές συνέπειες για τα παράκτια οικοσυστήματα και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Πλημμύρες λιμνών

Οι πλημμύρες λιμνών, αποτελούν συχνά καταστροφικά φαινόμενα, και κρίνονται συνέπεια της υπερχειλίσης υδάτων από τις λιμναίες λεκάνες, κυρίως υπό την επίδραση έντονων βροχοπτώσεων, ταχείας τήξης χιονόσκονης ή συνδυασμού των παραπάνω παραγόντων. Η αύξηση της στάθμης των υδάτων στις λίμνες, σε συνδυασμό με τη

γεωμορφολογία της περιοχής και την ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών αναχωμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες πλημμύρες στις παραλίμνιες περιοχές. Οι πλημμύρες αυτές προκαλούν σημαντικές υλικές ζημιές σε υποδομές, καλλιέργειες και οικισμούς, ενώ συχνά θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

Πλημμύρες ορεινών χείμαρρων

Ο συνδυασμός των έντονων βροχοπτώσεων, του ορεινού ανάγλυφου και της γεωλογικής σύστασης της χώρας μας, ευνοεί την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Η έλλειψη πυκνής φυτοκάλυψης στις ορεινές περιοχές εντείνει το πρόβλημα, καθώς η βλάστηση συμβάλλει στην απορρόφηση των υδάτων και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, μεγάλες ποσότητες εδάφους αποκολλώνται από τις πλαγιές και μεταφέρονται από τα ορμητικά νερά προς τις πεδινές περιοχές, σχηματίζοντας ιζηματογενείς μάζες και προκαλώντας εκτεταμένες πλημμύρες. Η διαδικασία αυτή, γνωστή ως διάβρωση και απόθεση ιζημάτων, έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των εδαφών, την υπονόμηση των υποδομών και την απώλεια καλλιεργήσιμης γης (Βοζινάκη, 2014; Παπανικολάου & Διακάκης, 2011).

Πλημμύρες που συνδέονται με τους υπογείους υδροφορείς

Οι πλημμύρες υπόγειων υδάτων αποτελούν ένα υδρολογικό φαινόμενο που χαρακτηρίζεται από την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε επίπεδα που υπερβαίνουν την επιφάνεια του εδάφους, οδηγώντας στην εμφάνιση υδάτων σε περιοχές που κανονικά είναι στεγνές. Οι κύριες αιτίες των πλημμυρών υπόγειων υδάτων είναι η έντονη και παρατεταμένη βροχόπτωση, η ταχεία τήξη των χιώνων, η αύξηση της στάθμης των υδάτων σε γειτονικά υδάτινα σώματα και η ανθρωπογενής δραστηριότητα, όπως η υπεράντληση υπόγειων υδάτων ή η κατασκευή έργων υποδομής. Η εκδήλωση πλημμυρών υπόγειων υδάτων συνοδεύεται από την ενεργοποίηση πηγών, την υγρασία του εδάφους και την εμφάνιση στάσιμων υδάτων σε χαμηλά σημεία του τοπίου (Βοζινάκη, 2014; Παπανικολάου & Διακάκης, 2011).

Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου

Η αστοχία υδραυλικών έργων, όπως φραγμάτων και καναλιών, αποτελεί συχνή αιτία εκτεταμένων πλημμυρών, με σοβαρές επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα οικοσυστήματα. Οι κυριότεροι παράγοντες που οδηγούν σε τέτοιου είδους αστοχίες είναι η υπερφόρτιση των έργων λόγω έντονων βροχοπτώσεων, η διάβρωση των υλικών κατασκευής, η έλλειψη συντήρησης και ο φτωχός αρχικός σχεδιασμός. Η κατάρρευση ενός υδραυλικού έργου, έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία απελευθέρωση μεγάλων όγκων νερού και ιζημάτων, προκαλώντας ορμητικές πλημμύρες, διάβρωση των κοιτών και την απόθεση μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων στις κατάντη περιοχές (Διακάκης, 2013).

Πλημμυρά αστικών περιοχών

Η αστικοποίηση είναι ένα φαινόμενο το οποίο καταγράφεται όλο και περισσότερο τις τελευταίες δεκαετίες. Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερες αστικές εκτάσεις προς εξυπηρέτηση των νέων κατοίκων, έχει οδηγήσει στην ραγδαία συρρίκνωση της δασικής και αγροτικής γης. Η έλλειψη φυσικού πρασίνου συντελεί στην μη κατακράτηση των βρόχινων υδάτων και κατά συνέπεια στην αύξηση της επιφανειακής απορροής.

Το φαινόμενο των αστικών πλημμυρών αναλύεται εκτενώς στο 2^ο Κεφάλαιο της παρούσης εργασίας.

2 ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΟΛΕΩΝ

2.1 Αίτια πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον

Η πλημμύρα μιας αστικής περιοχής αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για το κοινωνικό σύνολο και ένα μείζον ζήτημα το οποίο η πολιτεία καλείται να επιλύσει.

Η αστική ζώνη, είναι στην ουσία ένα ανθρώπινο, σύνθετο τεχνικό έργο, οι αστοχίες του οποίου, για παράδειγμα μια αστική πλημμύρα, οφείλονται κατά κύριο λόγο στον ανθρώπινο παράγοντα. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς αιτίες συνοψίζονται ως (Κατσιόλας, 2023):

- Ελλιπώς σχεδιασμένα τεχνικά έργα.
- Αλλαγές στην χρήση γης: Αλλαγές στην μορφή της κοίτης αποτέλεσμα επέκτασης σχεδίου πόλης ή γεωργικών εκτάσεων.
- Καταπάτηση κοιτών υδατορεμάτων.
- Αποσπασματική εκτέλεση έργων κατά μήκος πεδινής διαδρομής υδάτινων διαδρομών.
- Αποβολή ή μη καθαρισμός αστικών λυμάτων, μπαζών και φερτής ύλης σε υδατορέματα ή τεχνικά έργα απορρόφησης όμβριων υδάτων.

Αναφορικά με τα τεχνικά έργα, τα δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης αποτελούν κρίσιμες υποδομές για την αστική λειτουργία και την υγιεινή. Ωστόσο, αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα που υποβαθμίζουν την ποιότητα ζωής και προκαλούν σημαντικές οικονομικές επιβαρύνσεις.

Τύποι δικτύων και προβλήματα:

- **Δίκτυα ύδρευσης:** Τα προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης σχετίζονται κυρίως με διαρροές, χαμηλή πίεση και μειωμένη ποιότητα νερού.
- **Δίκτυα αποχέτευσης:**
 - **Παντοροϊκά συστήματα:** Υποφέρουν από υπερχειλίση κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, με αποτέλεσμα τη ρύπανση των υδάτινων σωμάτων.
 - **Χωριστικά συστήματα:** Μπορούν να αντιμετωπίσουν προβλήματα λόγω φραξίματος, διαβρώσεων και εισροών υπόγειων υδάτων.

- ο **Μικτά συστήματα:** Ενσωματώνουν χαρακτηριστικά τόσο των παντοροϊκών όσο και των χωριστικών συστημάτων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αντίστοιχα προβλήματα.

Τα παντοροϊκά συστήματα αποχέτευσης, αν και σχεδιασμένα να διαχειρίζονται σημαντικές υδρολογικές φορτίσεις, εντούτοις υπόκεινται σε περιορισμούς επεξεργασίας κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων. Η υπέρβαση της ονομαστικής χωρητικότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οδηγεί σε ανεξέλεγκτες εκροές μη επεξεργασμένων λυμάτων και όμβριων υδάτων, επιβαρύνοντας σημαντικά τα υποκείμενα υδάτινα συστήματα.

Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα αποχέτευσης όμβριων υδάτων υπόκεινται σε υποβάθμιση λόγω της γήρανσης των υλικών, της κακής συντήρησης, της διάβρωσης και των εξωτερικών επιβαρύνσεων, οδηγώντας σε μειωμένη υδραυλική αποδοτικότητα και συχνές φράξεις. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται υδάναθροιση στον αστικό ιστό, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλές υδραυλικές κλίσεις, επιδεινώνοντας τα φαινόμενα πλημμυρών (Κατσιόλας, 2023).

Παρόλα αυτά, η θέση μιας πόλης παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στην τρωτότητα της από τις πλημμύρες, με καθοριστικότερο παράγοντα την τοπογραφία και ειδικότερα την κλίση του εδάφους. Οι πεδινές περιοχές είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα μιας και τα ύδατα της υετόπτωσης τείνουν να παραμένουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στο επόμενο Σχήμα 5, παρουσιάζονται μέσω φωτογραφικών αποτυπώσεων τα οποία έχουν αντληθεί από το Google street view, ορισμένα παραδείγματα κτηρίων των οποίων είτε η θέση είτε ο τρόπος κατασκευής και τα χαρακτηριστικά τους, ενδυναμώνουν την τρωτότητα τους έναντι πλημμυρικών συμβάντων.

Όπως υποδεικνύουν και τα πορτοκαλί βέλη εντός των εικόνων, όταν το χαμηλότερο άνοιγμα του κτηρίου βρίσκεται είτε σε χαμηλότερη (υπόγειο), είτε σε παρόμοια στάθμη με το έδαφος (ισόγειο), οι πιθανότητες πλημμύρας είναι σημαντικές. Παράλληλα, όταν τα υλικά που αποτελούν το άνοιγμα είναι το ξύλο ή κάποια παλιά μεταλλική επιφάνεια που συνδέεται με τζαμαρία οι πιθανότητες αυξάνονται εκθετικά.

Τέλος, οι συνθήκες του περιβάλλοντος που βρίσκεται το κτίσμα, συνδράμουν στην τρωτότητα του. Η εκτενής ασφαλτόστρωση και η απουσία κήπων δείχνει να έχει αρνητική επίδραση στην ανθεκτικότητα του οικοδομήματος (Feloni, 2019).

Ο Πίνακας 2, αποδεικνύει τα συμπεράσματα που διατυπώνονται στην προηγούμενη παράγραφο. Κτήρια των οποίων το άνοιγμα είναι χαμηλό με κύριο υλικό το γυαλί, θεωρούνται περισσότερο ευάλωτα, ενώ το έτος κατασκευής δεν επηρεάζει έντονα. Ακόμα ένα συμπέρασμα που εξάγουμε είναι ότι το 70% των πλημμυρισμένων οικημάτων περιτριγυρίζεται από ασφαλτο ενώ μόλις το 20% των κτηρίων με κήπο υπέστησαν ζημίες από μια έντονη βροχόπτωση.



Σχήμα 5: Επιμέρους χαρακτηριστικά ευάλωτων σημείων ιδιοκτησιών - αίτια τρωτότητας αστικών υποδομών (Πηγή: Feloni, 2019).

Πίνακας 2: Ποσοστιαία κατανομή χαρακτηριστικών για οικίες που έχουν υποστεί ζημία λόγω πλημμύρας - Σύγκριση Κατηγοριών (Feloni, 2019).

Parameter: Lower opening type			
Categories:	Basement	Ground - floor	Elevated
Results:	18.47%	60.64%	20.88%
Parameter: Lower opening material			
Categories:	Metal	Wood	Glass
Results:	35.74%	15.26%	49.00%
Parameter: General condition of the structure			
Categories:	In poor conditions	Modern structure	Incomplete or lash - up structure
Results:	20.08%	74.70%	5.22%
Parameter: Surrounding environment			
Categories:	Existence of pavement	Type of road	Existence of garden
Results:	73.09%	251 cases are asphalt; 1 case is dirt	20.08%

2.2 Διεθνή παραδείγματα αστικών πλημμυρών

Τα πλημμυρικά φαινόμενα σε αστικό ιστό, είναι ένα παγκόσμιο και διαχρονικό φαινόμενο το οποίο ο άνθρωπος δεν έχει καταφέρει να εξαλείψει. Ακόμα και οι πιο αναπτυγμένες πόλεις του κόσμου, κάποτε στο παρελθόν κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν μια καταστροφική πλημμύρα, ενώ είναι στατιστικά βέβαιο ότι στο μέλλον θα αντιμετωπίσουν και πάλι μία.

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν συνοπτικά, ορισμένα αστικά πλημμυρικά συμβάντα που έλαβαν χώρα σε διάφορες πόλεις του κόσμου.

Ιαπωνία 2019

Το Τόκιο, μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις στον κόσμο, αντιμετωπίζει όλο και πιο συχνά τον κίνδυνο πλημμυρών. Παρόλο που η πόλη έχει επενδύσει σημαντικά σε

συστήματα προστασίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι έντονες βροχοπτώσεις και οι τυφώνες αποτελούν συνεχείς απειλές.

Ο τυφώνας Hagibis, προκάλεσε εκτεταμένες πλημμύρες και κατολισθήσεις σε όλη την Ιαπωνία, συμπεριλαμβανομένου του Τόκιο. Οι πλημμύρες προκάλεσαν σημαντικές ζημιές σε υποδομές και υποχρέωσαν χιλιάδες ανθρώπους να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Ο τυφώνας, κατά εκτιμήσεις ο ισχυρότερος που έχει καταγραφεί από το 1958 στην Ιαπωνία, προκάλεσε βροχοπτώσεις-ρεκόρ ενώ στην παραθαλάσσια πόλη Χακόνε σημειώθηκε κατακρήμνιση 939,5 χιλιοστών μέσα σε 24 ώρες ([news247](#)). Τα τοπικά μέσα ενημέρωσης μετέδωσαν εικόνες από πλημμυρισμένες γεωργικές και αστικές εκτάσεις, με μεγαλύτερη πληγή να αποτελεί τον ποταμό Τσικούμα στην επαρχία Ναγκάνο ο οποίος υπερχείλισε σκορπίζοντας την καταστροφή.

Στην πόλη Χακόνε κοντά στο όρος Φούτζι, ποτάμια ξεχείλισαν σε 14 σημεία προκαλώντας μεγάλες πλημμύρες. Ωστόσο, τα αντιπλημμυρικά φράγματα κράτησαν γύρω από την πρωτεύουσα και η στάθμη των νερών υποχώρησε σταδιακά αποτρέποντας τα χειρότερα ([iefimerida.gr](#)).

Κεντρική Ευρώπη 2013

Οι πρωτοφανείς βροχοπτώσεις του Ιουνίου του 2013, οδήγησαν σε υπερχείλιση του ποταμού Δούναβη, η στάθμη του οποίου κατέγραψε το μέγιστο των τελευταίων 500 ετών. Υψηλές σταθμες εμφανίστηκαν και στους ποταμούς Ελμπε και Ρήνο, με αποτέλεσμα μεγάλες αστικές ζώνες εκατέρωθεν πεδιάδων να πλημμυρίσουν. Οι πληγέντες χώρες ήταν η Γερμανία η Τσεχία, η Αυστρία η Ελβετία και η Ουγγαρία. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ιστορικό κέντρο της Πράγας κινδύνεψε από την άνοδο της στάθμης του Δούναβη με την πολιτεία να απομακρύνει τουλάχιστον 2700 πολίτες από τις οικίες τους ([archimedes.gr](#)).



Σχήμα 6: Η πόλη Wehdel της Σαξωνίας στις 4 Ιουνίου 2013, μετά από θραύση των αναχωμάτων του ποταμού Elbe (Πηγή: Archimedes.gr).

2.3 Αίτια τρωτότητας ελληνικών πόλεων και ενδεικτικά παραδείγματα

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς και στο Κεφάλαιο 1, τα πλημμυρικά συμβάντα σε επίπεδο αστικού ιστού είναι πολυπληθή και λόγω της κλιματικής αλλαγής, τόσο ο αριθμός τους όσο και η σφοδρότητά τους πρόκειται να γνωρίσουν καλπάζουσα αύξηση και μάλιστα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Οι ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες καθώς και η φυσική θέση της λεκάνης απορροής αποτελούν με συντριπτική διαφορά την πρώτη και κύρια αιτία πρόκλησης πλημμύρας σε μια πόλη. Εξαιτίας αυτού, στην Ελλάδα τα φαινόμενα αυτά επικεντρώνονται στην ανατολική πλευρά της χώρας παρά το γεγονός ότι η Δυτική πλευρά βιώνει τριπλάσιο ύψος υετού (Γκιόκας, 2009).

Μελετώντας τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ευνοείται η δημιουργία αστικών πλημμυρών. Το κλίμα, η εδαφική γεωμορφολογία και το γεωλογικό υπόβαθρο, είναι παράγοντες οι οποίοι σε πλήρη αρμονία με την αυθαίρετη δόμηση και επέκταση οικισμών σε παράκτιες ή παραποτάμιες περιοχές, συντελούν στην τρωτότητα των Ελληνικών πόλεων ως προς το φαινόμενο αυτό.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι μικρής έως μεσαίας διαμέτρου υδρολογικές λεκάνες που αποτελούν το κύριο αποστραγγιστικό σύστημα της χώρας, δεν μπορούν να αποκριθούν στις ανάγκες που επιβάλλει μια ξαφνική και έντονη βροχόπτωση (Κατσιόλας, 2023; Αλεξίου, 2013).

Σύμφωνα με την Ελληνική στατιστική υπηρεσία, οι αστικές πλημμύρες θα εμφανίζονται με όλο και μεγαλύτερη συχνότητα και σφοδρότητα, και μάλιστα στο κοντινό μέλλον. Η κλιματική αλλαγή, η διαχείριση των υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με την ανάρμοστη δόμηση δυσχεραίνουν την κατάσταση.

Με μια σύντομη αναδρομή στο παρελθόν, γίνεται αντιληπτό ότι οι άμεσα τρωτές αστικές περιοχές της χώρας βρίσκονται είτε πλησίον καμένων δασικών εκτάσεων στα άναντη των λεκανών, είτε σε ζώνες στις οποίες έχει επέλθει αλλαγή χρήσης γης, όπου δασικές εκτάσεις μετατρέπονται σε οικιστικές ή βιομηχανικές ζώνες.

Εκτός των ανωτέρω, η τρωτότητα των Ελληνικών πόλεων συνδέεται άμεσα και με την έλλειψη οργάνωσης. Ο ατελής σχεδιασμός και σε ορισμένες περιπτώσεις η πλήρης ανεπάρκεια σχεδίων εκκένωσης οδήγησε στην ραγδαία αύξηση των θανάτων στην Ελλάδα τα τελευταία 30 χρόνια με περισσότερα από 170 θύματα σε 447 πλημμύρες (Κατσιόλας, 2023).

Ενδιαφέρον στατιστικό στοιχείο αποτελεί ο αριθμός των πλημμυρικών καταστροφών στην χώρα μας, ο οποίος αν και είναι μικρός σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, αριθμός των καταγεγραμμένων θυμάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερος (Κατσιόλας, 2023).

Ως τελευταίο αδύναμο σημείο των ελληνικών πόλεων λογίζονται οι υποδομές τους.

Στην προκειμένη περίπτωση καυτηριάζεται η έλλειψη αντιπλημμυρικών έργων, η απουσία συντήρησης τους, καθώς επίσης και η μη εποπτεία και επιβολή καθαρισμού σε φρεάτια και σωλήνες συλλογής όμβριων υδάτων.

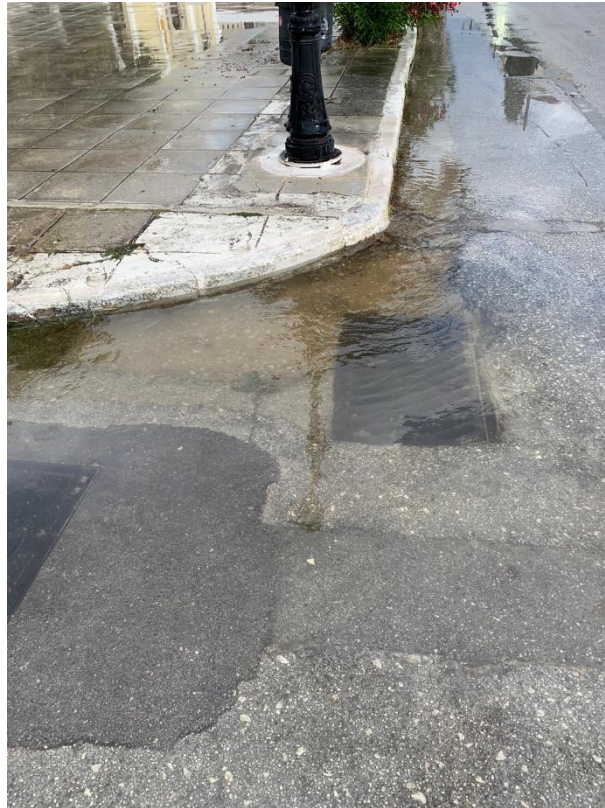
Το συγκεκριμένο πρόβλημα, συναντάται σε ολόκληρη την Ελληνική επικράτεια, είτε σε αστικό ιστό είτε σε αγροτικές εκτάσεις και προκαλεί βραχυπρόθεσμα πλημμυρικά επεισόδια, συνήθως χωρίς να κινδυνέψουν ανθρώπινες ζωές, αλλά με πολλαπλές φθορές σε τεχνικές υποδομές αλλά και στην δημόσια αισθητική.

Τα υπάρχοντα αστικά υδραυλικά έργα, όπως για παράδειγμα τα φρεάτια όμβριων υδάτων, σπανίως καθαρίζονται από τα φερτά υλικά εντός τους και ακολούθως, σχεδόν ποτέ δεν εποπτεύεται η λειτουργική τους ικανότητα από τους αρμόδιους φορείς.

Ακολουθεί φωτογραφικό υλικό από το προσωπικό μου αρχείο, το οποίο απεικονίζει ένα μικρής κλίμακας πλημμυρικό γεγονός στην πόλη της Λευκάδας, τον Αύγουστο του 2023. Τα λιμνάζοντα νερά ύψους έως και 20 εκατοστών σε ορισμένα σημεία είναι άμεσο αποτέλεσμα μια ξαφνικής και μεγάλης έντασης μπόρας διάρκειας 30 λεπτών, σε συνδυασμό με την αδυναμία των υπάρχοντων υδραυλικών και αντιπλημμυρικών έργων της πόλης να απορροφήσουν ένα υψηλό ύψος υετού.



Σχήμα 7: Το ύψος του νερού (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 8: Φραγμένο φρεάτιο από φερτά υλικά (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 9: Ημιφραγμένο φρεάτιο κατά την διάρκεια αποστράγγισης (προσωπικό αρχείο).

Οι παραπάνω εικόνες αποδεικνύουν περίτρανα την έλλειψη οργάνωσης και υποδομών προστασίας από αστικές πλημμύρες. Υπάρχουν όμως και παραδείγματα πλημμυρικών φαινομένων τα οποία συγκεντρώνουν παραπάνω από ένα αίτιο τρωτότητας μιας Ελληνικής αστικής περιοχής έναντι τέτοιων φαινομένων.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ένα συμβάν πλημμυρικής καταστροφής το οποίο όπως αποδείχτηκε εν καιρώ, είναι άμεση συνέπια όλων των προαναφερθέντων αιτιών τρωτότητας του κεφαλαίου 2.3.

Το παράδειγμα της Μάνδρας

Η Μάνδρα Αττικής γνώρισε ένα από τα καταστροφικότερα πλημμυρικά γεγονότα της σύγχρονης Ελληνικής ιστορίας. Το παράδειγμα της Μάνδρας θεωρείται ως το πλέον αντιπροσωπευτικό καθώς συγκεντρώνει τα περισσότερα χαρακτηριστικά τρωτότητας που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Το γεγονός έλαβε χώρα τον Νοέμβριο του 2017 όταν τρομερά έντονα καιρικά φαινόμενα έπληξαν την ευρύτερη περιοχή.

Από πλευράς φυσικών παραγόντων, κύρια αιτία θεωρήθηκε η εξαιρετικά έντονη βροχόπτωση που σημειώθηκε σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, η περίπλοκη γεωμορφολογία με τις χαμηλές κλίσεις και τα στενά φαράγγια, συγκέντρωσε σημαντικές ποσότητες υδάτων και ύλης τα οποία το ανεπαρκώς σχεδιασμένο και συντηρημένο, υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, με αγωγούς μικρής διατομής και φραγμένους από φερτά υλικά, αδυνατούσε να απομακρύνει.

Στον ανθρωπογενή παράγοντα, αποδίδεται η υπερβολική αστικοποίηση της περιοχής, με κατασκευή κτηρίων και αλλαγής χρήσης του εδάφους με αποτέλεσμα την δραματική μείωση των απορροφητικών επιφανειών.

Παράλληλα, η απουσία ενός ολοκληρωμένου χωροταξικού σχεδίου, με αυθαίρετη δόμηση σε περιοχές με υψηλό κίνδυνο, συνέβαλαν στην αύξηση της ευπάθειας της Μάνδρας σε πλημμύρες.

2.4 Το παράδειγμα του λεκανοπεδίου Αττικής

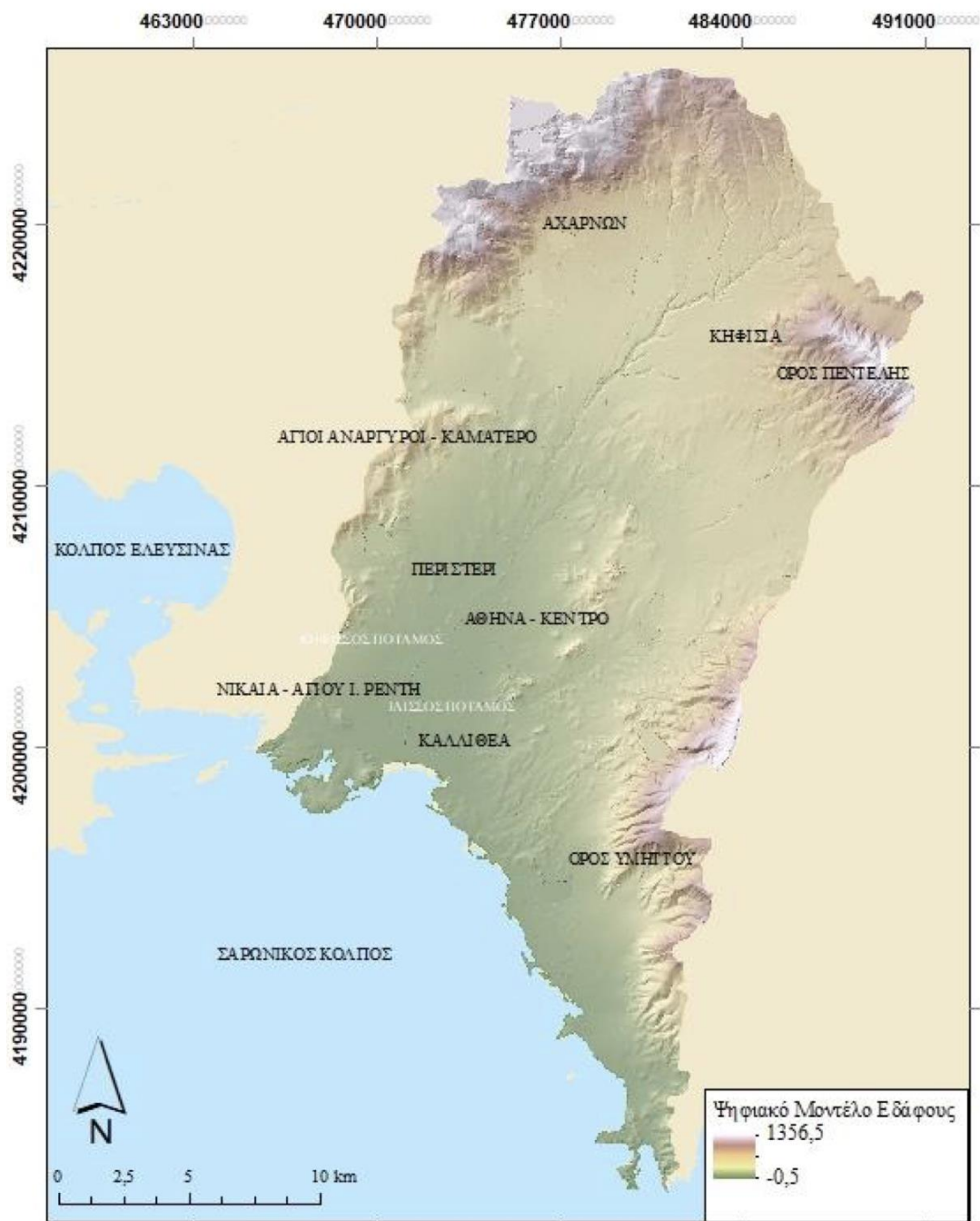
2.4.1 Γεωμορφολογία του εδάφους

Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα της Ελλάδας με μόνιμο πληθυσμό 3.059.764 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή της ΕΛΣΤΑΤ το 2021. Το πολεοδομικό της συγκρότημα βρίσκεται στην περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής το οποίο περικλείεται από πέντε βουνά. Στην δυτική πλευρά, βρίσκονται το όρος Αιγάλεω και το Ποικίλο όρος, η Πάρνηθα στα βορειοδυτικά, και ο Υμηττός με το Πεντελικό όρος στα ανατολικά του λεκανοπεδίου. Το νότιο τμήμα βρέχεται από τον κόλπο του Σαρωνικού.

Το έδαφος της περιοχής χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο ως επίπεδο με ορισμένες λοφώδεις εκτάσεις. Οι μεγαλύτερες μορφολογικές κλίσεις συναντώνται γύρω από τα τμήματα των Γερανείων, τους όρους Πατέρας και Κιθαιρώνα, της Πάρνηθας, του Υμηττού και της Πεντέλης.

Το κύριο αστικό τμήμα είναι το πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών-Πειραιά το οποίο βρίσκεται εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής και περιέχει την λεκάνη του Κηφισού ποταμού ο οποίος διασχίζει την ομώνυμη λεκάνη με κατεύθυνση νότια-νοτιοδυτική.

ΧΑΡΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ



Σχήμα 10: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Λεκανοπεδίου Αττικής (Πηγή: Μανίκα, 2021).

2.4.2 Υδρογραφικό δίκτυο

Το λεκανοπέδιο Αττικής, εσωτερικά είναι ασυνεχές και διακρίνεται βασιζόμενο σε υδροκρίτες από 15 υδρολογικές λεκάνες .

Η μεγαλύτερη και κυριότερη λεκάνη είναι του Κηφισού η οποία καλύπτει το 67% της συνολικής έκτασης (Αντωνίου Β., 2002). Γεωγραφικά ο κύριος υδροκρίτης που ορίζει το Αθηναϊκό λεκανοπέδιο, ακολουθεί την κορυφογραμμή των όρων Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πεντέλη και Υμηττό .

Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Strahler (Strahler, 1964) το υδρογραφικό δίκτυο της πρωτεύουσας διακρίνεται σε 7 τάξεις κλάδων συμβολιζόμενες με αρίθμηση από το 1 έως και το 7 ανάλογα το μέγεθος κάθε κλάδου. Ο Κηφισός ποταμός προσδιορίστηκε ως 7^{ης} τάξης.

Πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του αριθμού του μήκους και του μέσου μήκους κάθε τάξης τα στοιχεία των οποίων αποτυπώνονται στον πίνακα 2 (Αντωνίου Β., 2002).

Πίνακας 3: Στοιχεία υδρογραφικού δικτύου του Λεκανοπεδίου Αθηνών (Αντωνίου Β., 2002).

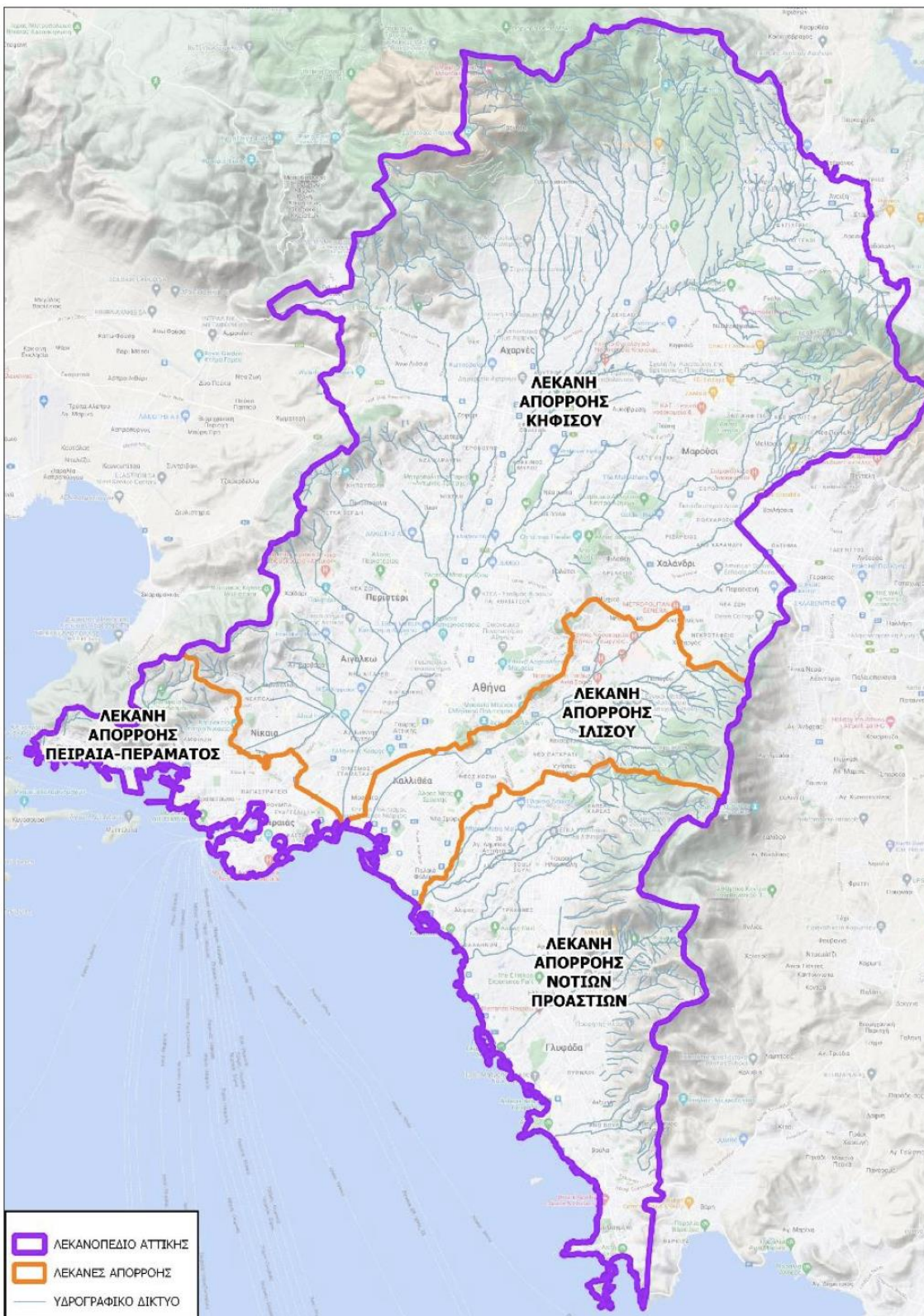
Κλάδοι	1ης τάξης	2ης τάξης	3ης τάξης	4ης τάξης	5ης τάξης	6ης τάξης	7ης τάξης	Σύνολο
Αριθμός	1525	404	82	20	4	2	1	2038
Μήκος (km)	850,5	419,5	223	69	24,5	11	6	1603,5
Μέσο Μήκος (km)	0,56	1,04	2,72	3,45	6,12	5,5	6	

Στο σχήμα 11 που ακολουθεί, αποτυπώνονται οι λεκάνες απορροής που αποτελούν το Λεκανοπέδιο Αττικής. Το υδρογραφικό δίκτυο της Αττικής χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία δύο κύριων υδατικών αρτηριών, του ποταμού Κηφισού και του ποταμού Ιλισού, καθώς και από ένα πλήθος μικρότερων ρεμάτων. Αυτά τα υδάτινα σώματα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του τοπίου, στην παροχή νερού και στην απορροή των όμβριων υδάτων.

- **Ποταμός Κηφισός:** Ο Κηφισός, ως ο μεγαλύτερος ποταμός της Αττικής, αποτελεί τον κύριο αποδέκτη των επιφανειακών υδάτων της περιοχής. Η πηγή του εντοπίζεται στις νοτιοανατολικές πλαγιές της Πάρνηθας και στις βορειοδυτικές της Πεντέλης, ενώ η κοίτη του έχει υποστεί εκτεταμένες ανθρώπινες παρεμβάσεις, ιδιαίτερα στο κατώτερο τμήμα του. Η διευθέτηση της κοίτης έχει επηρεάσει σημαντικά τη φυσική λειτουργία του ποταμού και τη βιοποικιλότητά του.
- **Ποταμός Ιλισός:** Ο Ιλισός, ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός της Αττικής, έχει επίσης υποστεί σημαντικές ανθρωπογενείς μεταβολές. Η κάλυψη της κοίτης του

με σκυρόδεμα και η δημιουργία υπόγειων αγωγών έχουν μειώσει σημαντικά τη φυσική του ροή και την ποιότητα των υδάτων του.

- **Ρέματα Πικροδάφνης και Τραχώνων:** Τα ρέματα Πικροδάφνης και Τραχώνων, που πηγάζουν από τον Υμηττό, αποτελούν σημαντικούς αποδέκτες των υδάτων των νότιων προαστίων της Αθήνας. Η αυξημένη αστικοποίηση και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στις περιοχές αυτές έχουν επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα των υδάτων τους και τη βιοποικιλότητάς τους.

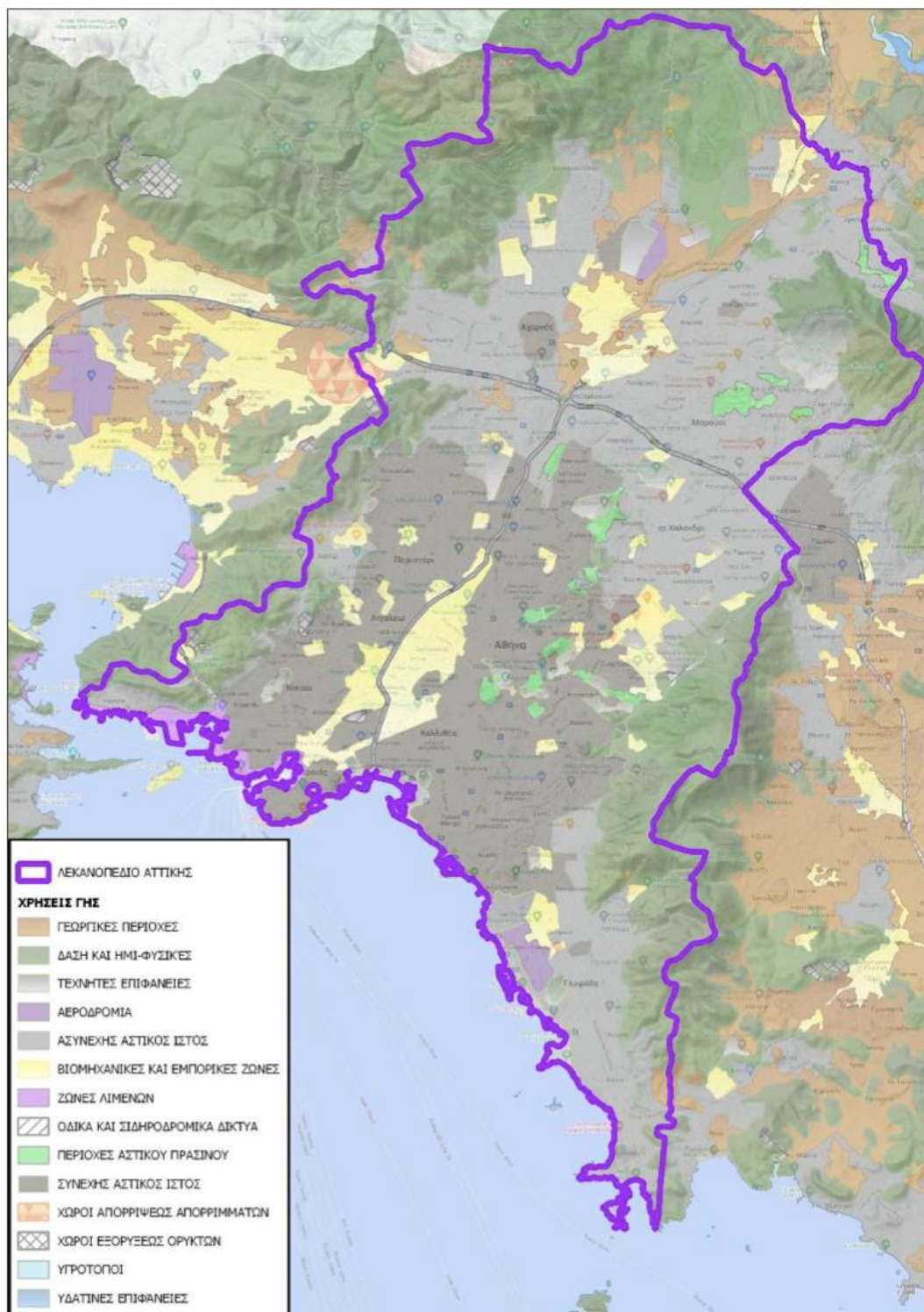


Σχήμα 11: Λεκάνες απορροής Λεκανοπεδίου Αττικής (Πηγή: [MASTER PLAN-mpattiki](https://www.masterplan-mpattiki.gr/)).

2.4.3 Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης του Λεκανοπεδίου αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων του Copernicus και το επίπεδο CORINE LAND COVER, CLC, 2018. Σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση του έτους 2018, στην ζώνη του λεκανοπεδίου Αττικής επικρατούν κατά κύριο λόγο τεχνικές επιφάνειες, (συνεχής και ασυνεχής ιστός και βιομηχανικές ζώνες) σε ποσοστό 68,4% (CORINE 2018).

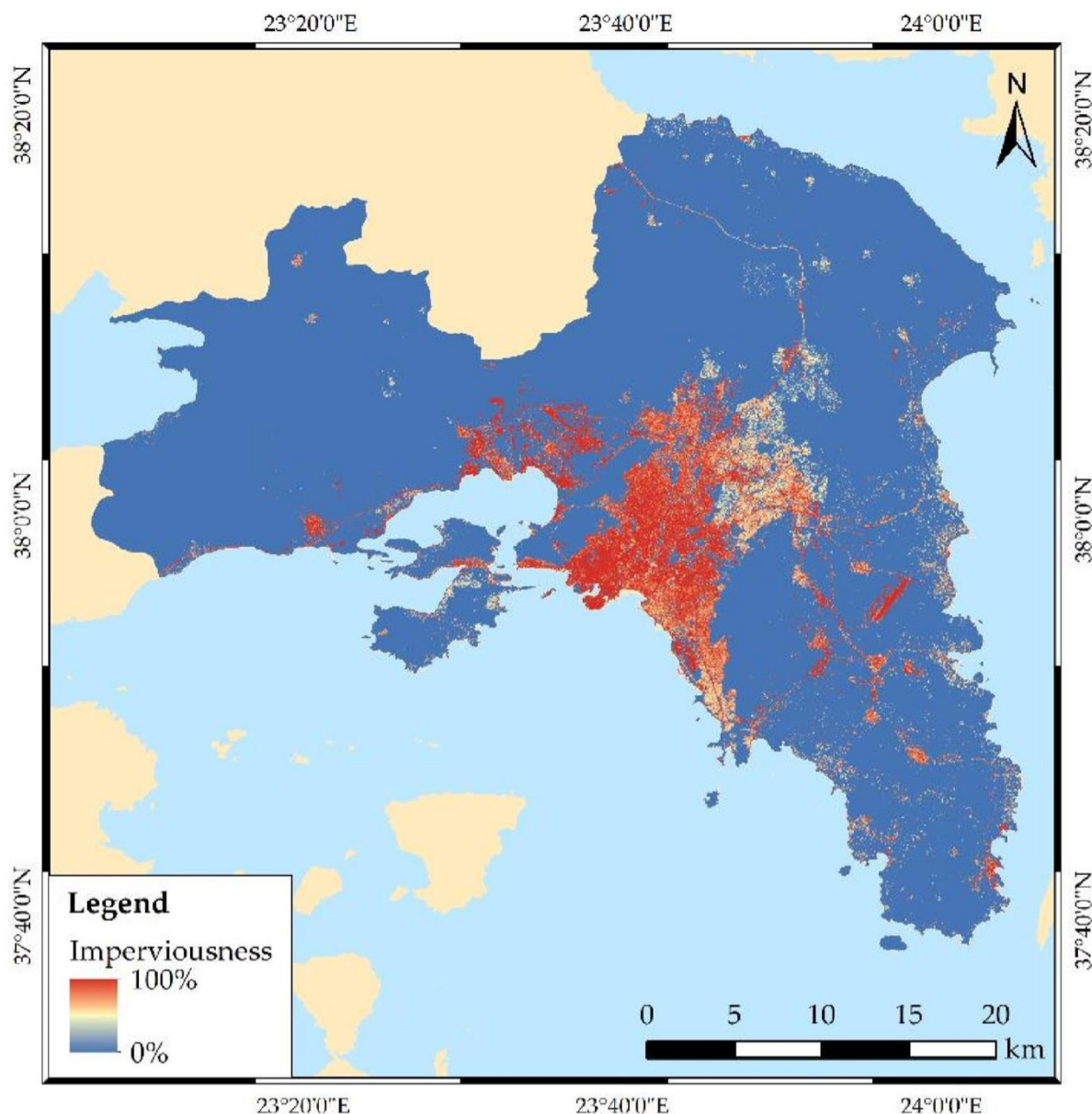
Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εμπορικών και βιομηχανικών περιοχών βρίσκονται σε κοντινή ακτίνα του Κηφισού ποταμού .



Σχήμα 12: Χρήσεις γης Λεκανοπεδίου Αττικής (Πηγή: [MASTER PLAN](#)).

Στο Σχήμα 13 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια χαρτογραφική αποτύπωση της Αττικής η οποία κατά κύριο λόγο εστιάζει στα ποσοστά των αδιαπέραστων επιφανειών που καλύπτουν την περιοχή του Λεκανοπεδίου.

Με μπλε χρώμα συναντώνται περατές επιφάνειες, όπως το χώμα, ενώ με κόκκινες αποχρώσεις απεικονίζονται τα εδάφη κολλημένα με αδιαπέρατα υλικά, όπως το σκυρόδεμα, τα οποία αποτελούν κύριο αίτιο πρόκλησης των αστικών πλημμυρών.



Σχήμα 13: Αδιαπερατότητα επιφανειών Αττικής (Πηγή: Feloni, 2019; didaktorika.gr).

2.4.4. Συμπεράσματα

Ορμώμενοι από το υποκεφάλαιο 2.3, και αξιολογώντας τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στο παρόν κεφάλαιο, εντοπίζουμε στοιχεία του λεκανοπεδίου Αττικής που καθιστούν την Ελληνική πρωτεύουσα ευάλωτη σε αστικές πλημμύρες.

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο:

- Εσφαλμένη διευθέτηση κοιτών: Οι κοίτες των ποταμών και των ρεμάτων, όπως του Κηφισού και του Ιλισού, έχουν υποστεί εκτεταμένες διευθετήσεις που, με την πάροδο του χρόνου, αποδείχθηκαν είτε άστοχες είτε ανεπαρκείς. Ως αποτέλεσμα, η ικανότητά τους να απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού έχει μειωθεί σημαντικά.
- Υπόγεια ύδατα: Οι αλληπάλληλες κατασκευές υπόγειων αγωγών, σε συνδυασμό με την κάλυψη των κοιτών με σκυρόδεμα (μπάζωμα μέρους ποταμών και παραπόταμων), έχουν μειώσει την επιφάνεια απορρόφησης των όμβριων υδάτων.

Ως προς τις χρήσεις γης:

- Έντονη αστικοποίηση: Η αυξημένη πυκνότητα πληθυσμού, οδήγησε σε αύξηση της κατασκευής αδιαπέρατων επιφανειών όπως για παράδειγμα η άσφαλτος και το σκυρόδεμα. Συνεπώς ο υετός δεν απορροφάται.
- Βιομηχανική δραστηριότητα: Η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα πλησίον μεγάλων υδάτινων αρτηριών (Αχαρνές, Ρέντη), συμβάλλουν στην παραγωγή αποβλήτων και διαφόρων φερτών υλικών, τα οποία φράζουν τους αγωγούς αποχέτευσης ή ακόμα και τις ίδιες τις υδατοδιαδρομές, ενισχύοντας τα πλημμυρικά επεισόδια.
- Περιοχές πρασίνου: Ως αποτέλεσμα της έντονης αστικοποίησης, η αποψίλωση των δασικών εκτάσεων παράλληλα με τις δασικές πυρκαγιές που έχουν γνωρίσει τα όροι του λεκανοπεδίου, συντέλεσαν στην διάβρωση του εδάφους και στην αύξηση της απορροής των ομβρίων υδάτων.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις και λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το Λεκανοπέδιο Αττικής αποτελεί και θα συνεχίσει να αποτελεί μια φυσική παγίδα, εξαιρετικά ευάλωτη σε κάθε είδους πλημμυρικό φαινόμενο.

3 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΟΛΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

3.1 Σημερινή κατάσταση

Τα πολυάριθμα πλημμυρικά συμβάντα, αποδεικνύουν ότι η έννοια της ανθεκτικότητας δεν έχει πλήρως κατανοηθεί, ενώ οι ποικίλες τεχνικές και λύσεις σε πολλές περιπτώσεις αγνοούνται, είτε λόγω έλλειψης γνώσεων, είτε για οικονομικούς σκοπούς.

Μια ανθεκτική πόλη, αποτελεί ένα σύνθετο σύστημα αλληλοεπιδρώντων φυσικών, τεχνητών και κοινωνικών στοιχείων, το οποίο διατηρεί την λειτουργικότητα και την ικανότητα του να ανακάμπτει από μια ακραία πλημμύρα. Τα φυσικά συστήματα, όπως το έδαφος, η υδρογραφία και η βλάστηση, καθώς και τα τεχνητά, όπως οι υποδομές, τα κτήρια και τα δίκτυα επικοινωνιών, συνθέτουν την υλική υποδομή της πόλης. Η ανθεκτικότητα αυτών των συστημάτων είναι καθοριστική για την επιβίωση μιας αστικής ζώνης.

Ιστορικά, οι προσπάθειες μείωσης του κινδύνου επικεντρώθηκαν στην ενίσχυση της φυσικής υποδομής. Ωστόσο, η ανθεκτικότητα μιας πόλης εξαρτάται εξίσου από την προετοιμασία και την ανταπόκριση των ανθρώπινων κοινωνιών.

Η εκπαίδευση των πολιτών, η ανάπτυξη αποτελεσματικών σχεδίων έκτακτης ανάγκης και η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων φορέων αποτελούν ζωτικούς παράγοντες για την οικοδόμηση της επιθυμητής ανθεκτικότητας (Σκιντζής, 2017).

Οι σύγχρονες ανθεκτικές πόλεις χαρακτηρίζονται συνοπτικά από:

- Τις υποδομές τους: Τα κτήρια, τα δίκτυα μεταφορών και οι λοιπές υποδομές, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με βάση αυστηρά κριτήρια ανθεκτικότητας. Η ορθή συντήρησή τους δε, βρίσκεται πάντα σε πρώτη προτεραιότητα.
- Προστασία φυσικών συστημάτων: Το φυσικό περιβάλλον, προστατεύεται και διαχειρίζεται με τρόπο που να ενισχύει την ανθεκτικότητα της πόλης, με την διατήρησή τους να βρίσκεται ψηλά στην λίστα.
- Προετοιμασία για έκτακτες ανάγκες: Οι πόλεις διαθέτουν λεπτομερή σχέδια έκτακτης ανάγκης, καθώς και τα απαραίτητα μέσα και πόρους για την αντιμετώπιση μιας πιθανής καταστροφής.
- Συνεργασία και συμμετοχή: Οι κυβερνητικοί φορείς, οι επιχειρήσεις και οι πολίτες συνεργάζονται στενά για την αντιμετώπιση της αστικής ανθεκτικότητας. Η πολιτεία, προστατεύοντας με τεχνικά έργα, αλλά και ενημερώνοντας και

διαπαιδαγωγώντας τους πολίτες, και οι πολίτες με την σειρά τους, όντας υπάκουοί στην χωροταξία και τους πολεοδομικούς κανονισμούς της εκάστοτε αστικής ζώνης.

3.2 Στροφή στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας έναντι πλημμυρών

Μια σύντομη αναδρομή στην νεότερη ιστορία του ανθρώπου και της εξέλιξης της κοινωνίας γενικότερα, οδηγεί στην διαπίστωση του αντίκτυπου που έχει μια φυσική καταστροφή και ειδικότερα μια καταστροφική πλημμύρα, στην εύρυθμη λειτουργία του κοινωνικού συνόλου.

Τόσο οι ανθρώπινες απώλειες, όσο και ο οικονομική ζημία, μπορούν να χαρακτηριστούν ανυπολόγιστες, και η ανάγκη ενίσχυσης της ανθεκτικότητας έναντι των πλημμυρών κρίνεται επιτακτική, σε μια εποχή, που η κλιματική αλλαγή είναι πιο αισθητή από ποτέ.

3.2.1 Ορισμός της ανθεκτικότητας

Η έννοια της ανθεκτικότητας ορίζεται ως η ικανότητα ενός συστήματος (φυσικού, κοινωνικού ή τεχνολογικού) να απορροφά διαταραχές, να προσαρμόζεται στις αλλαγές και να συνεχίζει να λειτουργεί σε ένα αξιοπρεπές και αποδεκτό επίπεδο.

Με πιο απλά λόγια, είναι η ικανότητα ανάκαμψης και λειτουργίας μετά από ένα σοβαρό συμβάν.

Κατά τον Γ. Μπαμπινιώτη, ανθεκτικότητα είναι το σύστημα το οποίο διαθέτει αντοχή και στερεότητα, που δεν καταβάλλεται από δυσκολίες και μπορεί να αντέξει τις κακουχίες.

Ειδικότερα η ανθεκτικότητα μιας πόλης απέναντι σε πλημμύρες, νοείται η ικανότητα της να αντέξει και να ανακάμψει από ένα τέτοιο φυσικό φαινόμενο, διατηρώντας παράλληλα τις βασικές της λειτουργίες και προστατεύοντας τους κατοίκους αλλά και τις ίδιες τις υποδομές της.

3.2.2 Αστική ανθεκτικότητα

Το φαινόμενο της αστικοποίησης στην σύγχρονη εποχή είναι κάτι παραπάνω από έντονο. Υπολογίζεται ότι πάνω από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί ή εργάζεται σε μια πόλη, με τον αριθμό αυτό να έχει ανοδικές τάσεις (Σκιντζής, 2017).

Η συνεχιζόμενη αστικοποίηση επιφέρει σημαντικές μεταβολές στον χαρακτήρα των πόλεων παγκοσμίως, καθιστώντας τες πυκνά κέντρα ανθρώπινης δραστηριότητας και οικονομικής ανάπτυξης. Παράλληλα, η συγκέντρωση πληθυσμού και δραστηριοτήτων εντός των αστικών περιοχών αυξάνει την ευπάθεια τους σε εξωγενείς κινδύνους, όπως

οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η εντατικοποίηση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι καταιγίδες και οι επίμονοι καύσωνες, σε συνδυασμό με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, αποτελούν σοβαρές απειλές για τις αστικές υποδομές και τους κατοίκους.

Εν όψει των ανωτέρω, η ανάπτυξη ανθεκτικών πόλεων αποκτά πρωταρχική σημασία. Μια ανθεκτική πόλη είναι ικανή να απορροφήσει τους κραδασμούς που προκαλούνται από εξωτερικές πιέσεις, να διατηρήσει τις βασικές της λειτουργίες και να προσαρμοστεί στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες. Η επίτευξη αυτού του στόχου, απαιτεί την διαμόρφωση μακροπρόθεσμων στρατηγικών που θα στοχεύσουν στην μείωση της ευπάθειας των πόλεων σε καταστροφές και παράλληλα, στην ενίσχυση της ικανότητας τους να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε κρίσεις.

Η ανθεκτικότητα των κτηρίων αποτελεί βασικό πυλώνα για την ανάπτυξη ανθεκτικών πόλεων. Οι τοπικές αρχές καλούνται να αναλάβουν πρωτοβουλίες για την προσαρμογή των αστικών κέντρων στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας τους. Η υιοθέτηση ολοκληρωμένων και πολυεπίπεδων προσεγγίσεων, που θα λαμβάνουν υπόψη τόσο τις φυσικές όσο και τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις της αστικής ανθεκτικότητας, είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν.

3.3 Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία περί πλημμυρών

Οι πλημμύρες ως ένα από τα πιο καταστροφικά φυσικά φαινόμενα, αποτελούν σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη ζωή, τις υποδομές, το περιβάλλον και την οικονομία. Η αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των πλημμυρικών γεγονότων, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για αποτελεσματικές στρατηγικές πρόληψης και διαχείρισης.

Μέχρι πρόσφατα, η αντιμετώπιση των πλημμυρών στην Ευρωπαϊκή Ένωση χαρακτηριζόταν από αποσπασματικές εθνικές προσπάθειες, οι οποίες συχνά αποδεικνύονταν ανεπαρκείς, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις διασυνοριακών ποταμών. Αναγνωρίζοντας την ανάγκη για μια ολοκληρωμένη και συντονισμένη προσέγγιση, το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο εξέδωσε το 2007 την οδηγία 2007/60/EK για την εκτίμηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Η εν λόγω οδηγία αποσκοπεί στην μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των πλημμυρών σε ευρύτερο φάσμα τομέων, όπως η ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον η πολιτιστική κληρονομιά και η οικονομία. Με την υποχρεωτική εφαρμογή της, επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός ενιαίου πλαισίου για την εκτίμηση των πλημμυρικών κινδύνων, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση μέτρων πρόληψης και διαχείρισης, καθώς και την ετοιμότητα για την αντιμετώπιση μιας έκτακτης ανάγκης (Αϊνίδου, 2021; ΥΠΕΚΑ).

Η οδηγία 2007/60/EK αποτελεί σημαντικό ορόσημο στην προσπάθεια της Ευρωπαϊκής ένωσης να αντιμετωπίσει τον αυξανόμενο κίνδυνο λόγω πλημμυρών. Αναγνωρίζοντας την πολυπλοκότητα του φαινομένου και την ανάγκη για μια ολιστική προσέγγιση, ο Οδηγία θεσπίζει ένα ενιαίο πλαίσιο εκτίμησης, πρόληψης και διαχείρισης των κινδύνων για όλα τα κράτη μέλη.

3.3.1 Τα βασικά στάδια υλοποίησης

Ορίζεται μια τριφασική προσέγγιση για την εφαρμογή των μέτρων διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας:

- Προκαταρκτική εκτίμηση κινδύνου: Στο πρώτο στάδιο, τα κράτη μέλη κλήθηκαν να πραγματοποιήσουν μια αρχική αξιολόγηση των λεκανών απορροής ποταμών και των παράκτιων περιοχών, με στόχο τον εντοπισμό των περιοχών οι οποίες είναι περισσότερο ευάλωτες σε πλημμύρες. Αυτή η αξιολόγηση αποτέλεσε την βάση για τα επόμενα στάδια.
- Ανάπτυξη χαρτών κινδύνου: Τα κράτη μέλη προχώρησαν στην ανάπτυξη λεπτομερών χαρτών κινδύνου πλημμύρας, οι οποίοι απεικονίζουν έκταση και τη συχνότητα των πλημμυρικών φαινομένων. Οι χάρτες αυτοί είναι σχεδιασμένοι να παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων του φαινομένου αυτού.
- Σχέδια διαχείρισης κινδύνου: Το τελικό στάδιο αφορά στην εκπόνηση λεπτομερών σχεδίων διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας για περιοχές που έχουν εντοπιστεί με υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο. Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα μέτρων, όπως έργα υποδομής, μέτρα πρόληψης, σχέδια έκτακτης ανάγκης και εκστρατείες ενημέρωσης των πολιτών.

3.3.2 Βασικές αρχές οδηγίας

- Ολοκληρωμένη προσέγγιση: Η οδηγία προωθεί μια ολιστική προσέγγιση στην διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, λαμβάνοντας υπόψη τις φυσικές, κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις του προβλήματος.

- Συμμετοχή των ενδιαφερόμενων: Ενθαρρύνεται η συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών, των φορέων και των εμπειρογνομόνων στην διαδικασία λήψης αποφάσεων.
- Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή: Η οδηγία αναγνωρίζει τη σημασία της προσαρμογής στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και ενθαρρύνει την υιοθέτηση μακροπρόθεσμων στρατηγικών.
- Βιώσιμη ανάπτυξη: Η διαχείριση των κινδύνων της πλημμύρας εντάσσεται στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, με στόχο την διατήρηση των οικοσυστημάτων και την προστασία του περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, η οδηγία 2007/60/EK, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου. Ωστόσο, η αποτελεσματική εφαρμογή της απαιτεί συνεχή προσπάθεια και συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών, των τοπικών αρχών και των ενδιαφερόμενων φορέων.

3.4 Σύγχρονα μέτρα προσαρμογής- Η έννοια των SuDS

Έχοντας γνώση της σημερινής κατάστασης σε σχέση με τα υπάρχοντα αντιπλημμυρικά έργα και τις μεθόδους λειτουργίας (ή δυσλειτουργίας) τους, κρίνεται επιτακτική, η ανάγκη αναφοράς μέτρων προσαρμογής.

Τα μέτρα αυτά θα υποδεικνύουν προτεινόμενες παρεμβάσεις κατασκευαστικού και μη χαρακτήρα, με άμεσο στόχο, την κατά δύναμιν συρρίκνωση του φαινομένου και βελτίωση του δημόσιου βίου.

Πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των μέτρων σε δύο κατηγορίες:

- Από την μια πλευρά αναλύονται οι μη κατασκευαστικού χαρακτήρα παρεμβάσεις, οι οποίες θεωρούνται οικονομικότερες και με μακροπρόθεσμη λειτουργία, μιας και τείνουν να προλαμβάνουν την δημιουργία μιας αστικής πλημμύρας.
- Από την άλλη πλευρά, προτείνονται παρεμβάσεις κατασκευαστικού χαρακτήρα. Αποτελούν, κατά κύριο λόγο τεχνικά υδραυλικά έργα που δρουν ως ασπίδα των αστικών περιοχών έναντι καταστροφικών πλημμυρικών φαινομένων.

Τα έργα αυτά, θωρακίζουν μια πόλη ή οποιαδήποτε έκταση με υψηλό ρίσκο πλημμύρας, μετατρέποντας τις μέχρι πρότινος ανεξέλεγκτες υδατοδιαδρομές αλλά και

διάφορες προ υπάρχουσες κατασκευές, σε ελεγχόμενα από τους αρμόδιους φορείς φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά.

Η αυξανόμενη αστικοποίηση και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, έχουν καταστήσει επιτακτική την ανάγκη για καινοτόμες λύσεις στη διαχείριση των αστικών υδάτων. Η απελευθέρωση ανεπεξέργαστων αστικών όμβριων υδάτων σε υδάτινους αποδέκτες αποτελεί σοβαρή απειλή για την δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Ως απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, τα Συστήματα Ήπιας Διαχείρισης Όμβριων (SuDS) έχουν αναδειχθεί ως μια βιώσιμη εναλλακτική στα συμβατικά συστήματα αποχέτευσης.

Τα SuDS, τα οποία συμπληρώνουν και ενίοτε αντικαθιστούν τις παραδοσιακές μεθόδους, αξιοποιούν φυσικές διεργασίες όπως η κατείσδυση, η διήθηση, η αποθήκευση και η εξατμισοδιαπνοή, προκειμένου να μιμηθούν τον φυσικό υδρολογικό κύκλο. Αυτή τη προσέγγιση συμβάλλει στην αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας των αστικών περιοχών και στη μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρών.

Η Ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία έχει αναγνωρίσει την σημασία των SuDS και τα προωθεί ως κεντρικό στοιχείο της στρατηγικής για την προστασία της βιοποικιλότητας, την μείωση της ρύπανσης και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Η υιοθέτηση των SuDS έχει εξαπλωθεί σε ολόκληρο τον ανεπτυγμένο κόσμο και έχει ενσωματωθεί σε πολεοδομικές περιοχές με διαφορετικές ονομασίες.

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται κάποια μοντέλα που χρησιμοποιούνται έκτος Ευρωπαϊκών συνόρων.

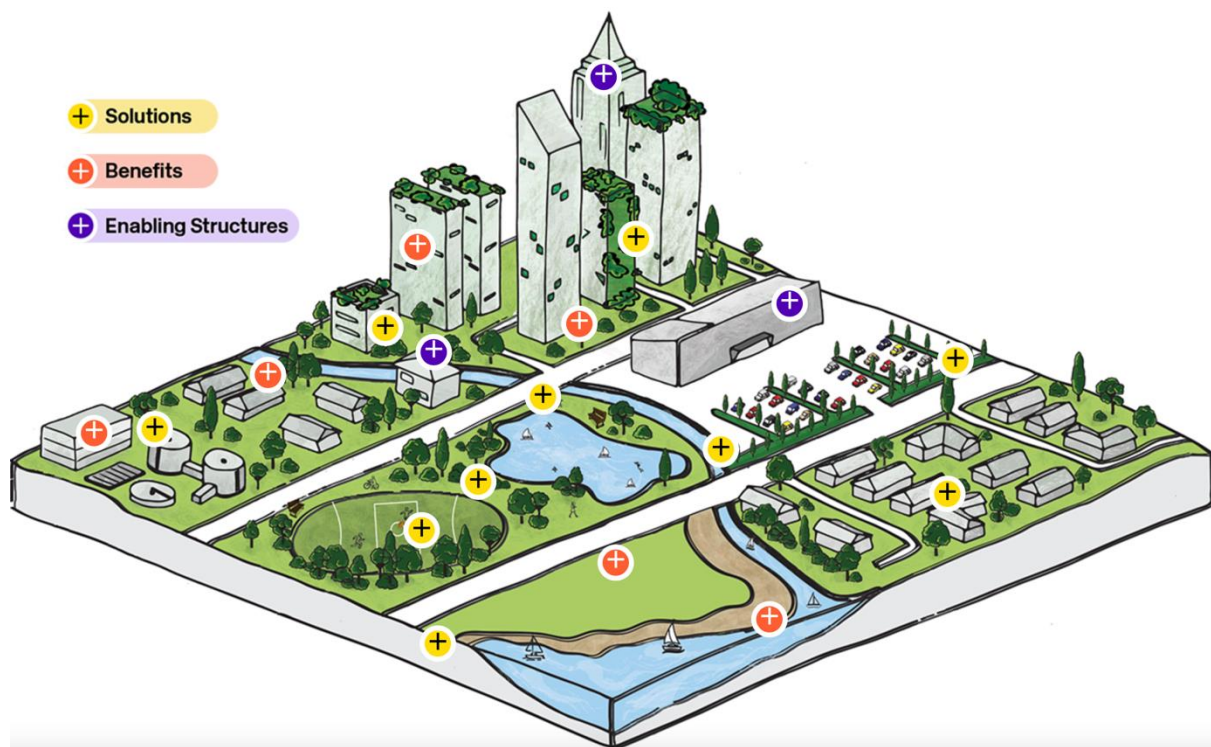
- Ήπια ανάπτυξη (Low impact development): Στην Βόρεια Αμερική και τη Νέα Ζηλανδία, αυτή η προσέγγιση εστιάζει στην αποκατάσταση της υδρολογίας των αστικών περιοχών και στην μείωση του κόστους κατασκευής και συντήρησης των υποδομών.
- Water sensitive urban design: Στην Αυστραλία, αυτή η πρωτοβουλία ενσωματώνει πρακτικές SuDS στον πολεοδομικό σχεδιασμό.
- Πόλεις σφουγγάρια: Στην Κίνα, αυτό το πρόγραμμα στοχεύει στην ικανότητα των αστικών περιοχών να απορροφούν, να αποθηκεύουν και να καθαρίζουν το νερό της βροχής.

Στα Σχήματα 14 έως 16 της επόμενης σελίδας απεικονίζονται από ένα φωτογραφικό παράδειγμα για κάθε πράσινο μοντέλο πόλης που αναφέρεται παραπάνω και αναλύεται

εκτενέστερα στο κεφάλαιο 3.6. Σε γενικές γραμμές ο σχεδιασμός και ο στόχος των επεμβάσεων είναι παρόμοιος.



Σχήμα 14: Παράδειγμα Low Impact Development (Πηγή: hrgreen.com).



Σχήμα 15: Water sensitive urban design (Πηγή: watersensitivecities.com).



Σχήμα 16: Ποταμός Meisha Corridor, Haikou City, 2016 (Πηγή: [ajlajournal](#)).

Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα SuDS δεν περιορίζονται στη μείωση της απορροής και των αιχμών παροχής, αλλά εστιάζουν επίσης και στην αποτροπή της διάχυτης ρύπανσης και στην δέσμευση των ρύπων στην πηγή (Λεβέντης, 2023).

Η κατάταξη των συστημάτων ήπιας διαχείρισης όμβριων με βάση την θέση εγκατάστασής τους στην λεκάνη απορροής προσφέρει μια πολύ σαφή εικόνα για το πώς μπορούν να εφαρμοστούν αυτά τα συστήματα σε διαφορετικές κλίμακες. Η γενική διάκριση γίνεται σε:

- Source Control (πηγή): Σε αυτό το επίπεδο, γίνεται εστίαση στην επιφάνεια που πέφτει η βροχή.
- Site Control (επίπεδο γειτονίας): Στο επίπεδο γειτονίας πραγματοποιείται διαχείριση στον χώρο του προσβαλλόμενου ακινήτου.
- Regional Control (επίπεδο περιοχής): Γίνεται διαχείριση σε μεγαλύτερη κλίμακα, όπως για παράδειγμα ολόκληρη περιοχή ή ακόμα και το σύνολο της πόλης.

3.4.1 SuDS Ήπιας διαχείρισης όμβριων στην πηγή

Πράσινες στέγες

Ως πράσινη στέγη ή αλλιώς φυτεμένη στέγη, ορίζεται ένα δώμα το οποίο καλύπτεται από βλάστηση. Αυτή η κατασκευή, πέρα από την αισθητική της αξία, λειτουργεί σαν μέτρο αντιπλημμυρικής προστασίας, κατακρατώντας σημαντικό μέρος όμβριων υδάτων. Οι πολλαπλές στρώσεις που το αποτελούν προστατεύουν παράλληλα το κτήριο από την υγρασία που δημιουργείται όπως επίσης και από το ριζικό σύστημα των φυτών.

Πιο συγκεκριμένα, τα συνήθη τμήματα που αποτελούν ένα πράσινο δώμα είναι:

1. Η φυτική στρώση
2. Η εδαφική στρώση
3. Το στρώμα κατακράτησης ομβρίων
4. Η διηθητική στρώση
5. Η στρώση στραγγίσματος
6. Η αντιριζική μεμβράνη
7. Η προστατευτική μεμβράνη
8. Η στεγνωτική μεμβράνη

Η εφαρμογή των πράσινων στεγών αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση στη διαχείριση των όμβριων υδάτων στις αστικές περιοχές. Σύμφωνα με μελέτες, οι πράσινες στέγες διαθέτουν σημαντική ικανότητα κατακράτησης των ομβρίων υδάτων, συμβάλλοντας έτσι στην αποκέντρωση των συστημάτων αποχέτευσης και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με πλημμύρες.

Η ικανότητα μιας πράσινης στέγης να κατακρατεί τα όμβρια ύδατα εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων όπως (Λεβέντης, 2023):

- Ο τύπος βλάστησης: Φυτά με ψηλότερο μίσχο, πυκνότερο φύλλωμα, μεγαλύτερους βλαστούς και ρίζες, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα κατακράτησης νερού. Ως επικρατέστερη επιλογή θεωρείται το γρασίδι, ενώ ακολουθούν το σέδο και η φόρβη.
- Το βάθος του υποστρώματος: Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του υποστρώματος, τόσο μεγαλύτερη και η αποθήκευση νερού.
- Η κλίση της στέγης: Οι πράσινες στέγες με μικρή κλίση κατακρατούν μεγαλύτερη ποσότητα ομβρίων λόγω μειωμένης επιφανειακής απορροής.
- Η διάρκεια της ξηρής περιόδου: Η προηγούμενη περίοδος ξηρασίας επηρεάζει την υδατική ικανότητα του υποστρώματος.

- Η ένταση της βροχόπτωσης: Μια βροχόπτωση μεγάλης έντασης περιορίζει σημαντικά την ικανότητα της πράσινης στέγης.

Ερευνητικά ευρήματα

Σύμφωνα με μελέτες των Gregoire και Clausen (Αλευράς, 2023), ο μέσος όρος κατακράτησης ομβρίων κυμαίνεται κοντά στο 56% . Ωστόσο, η ικανότητα αυτή ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τους παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι Nagase και Dunnet, κατέληξαν σε παρόμοια συμπεράσματα, επισημαίνοντας την υψηλότερη απόδοση των στεγών με γρασίδι.

Διάφοροι περιορισμοί

Παρά τα οφέλη τους, οι πράσινες στέγες παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς. Η κατασκευή και συντήρηση πράσινων στεγών, με μεγάλο βάθος και ψηλά φυτά, λογίζεται πιο κοστοβόρα και απαιτητική . Επιπλέον, η κατακράτηση της δεν καλύπτει από μόνη της τις ανάγκες μιας πόλης.

Στο Σχήμα 17 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι στρώσεις εφαρμογής και η επί τοις εκατό (100%) κατακράτηση ομβρίων κάθε στρώματος.

Στο σχήμα 18, παρατίθεται φωτογραφική τεκμηρίωση της μεθόδου στην πράξη.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα πάχη της φυτικής και της εδαφικής στρώσης (υπόστρωμα), ανάλογα με την μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί διαφέρουν. Έτσι, η στέγη μέχρι ένα πάχος τους χαρακτηρίζεται ως εκτεταμένη, ενώ από ένα σημείο και μετά καλείται εντατική.

Οι στρώσεις των πράσινων στεγών			Κατακράτηση ομβρίων (%)
Σκαρίφημα Στρώσεων	Περιγραφή	Πάχος (cm)	
	1. Φυτική στρώση	3-25 (ΕΚΠΣ) >25 (ΕΝΠΣ)	• 13.8-60.8 (ΕΚΠΣ), [249] • 12.0-25.0 (ΕΚΠΣ), [250] • 35.5-100.0 (ΕΚΠΣ), [251]
	2. Εδαφική στρώση	7-15 (ΕΚΠΣ) 15-20 (ΕΝΠΣ)	• 32.0-50.4 (ΕΚΠΣ), [252] • 19.0-98.0 (ΕΚΠΣ), [253]
	3. Στρώση κατακράτησης ομβρίων	2-5	• 67.5 (ΕΝΠΣ), [279]
	4. Στρώση διήθησης	<1	
	5. Στραγγιστική στρώση	8	
	6. Αντιριζική μεμβράνη	<2	
	7. Προστατευτική Μεμβράνη	<3	
	8. Στεγανωτική μεμβράνη	<1	

Σχήμα 17: Οι στρώσεις των πράσινων στεγών και η κατακράτησή τους (Πηγή: Λεβέντης, 2023).



Σχήμα 18: Εφαρμογή πράσινης στέγης σε αστικό ιστό (Πηγή: emymonoseis.gr).



Σχήμα 19: Πράσινη στέγη στο ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (Πηγή: reni.gr).

Κήποι Βροχής

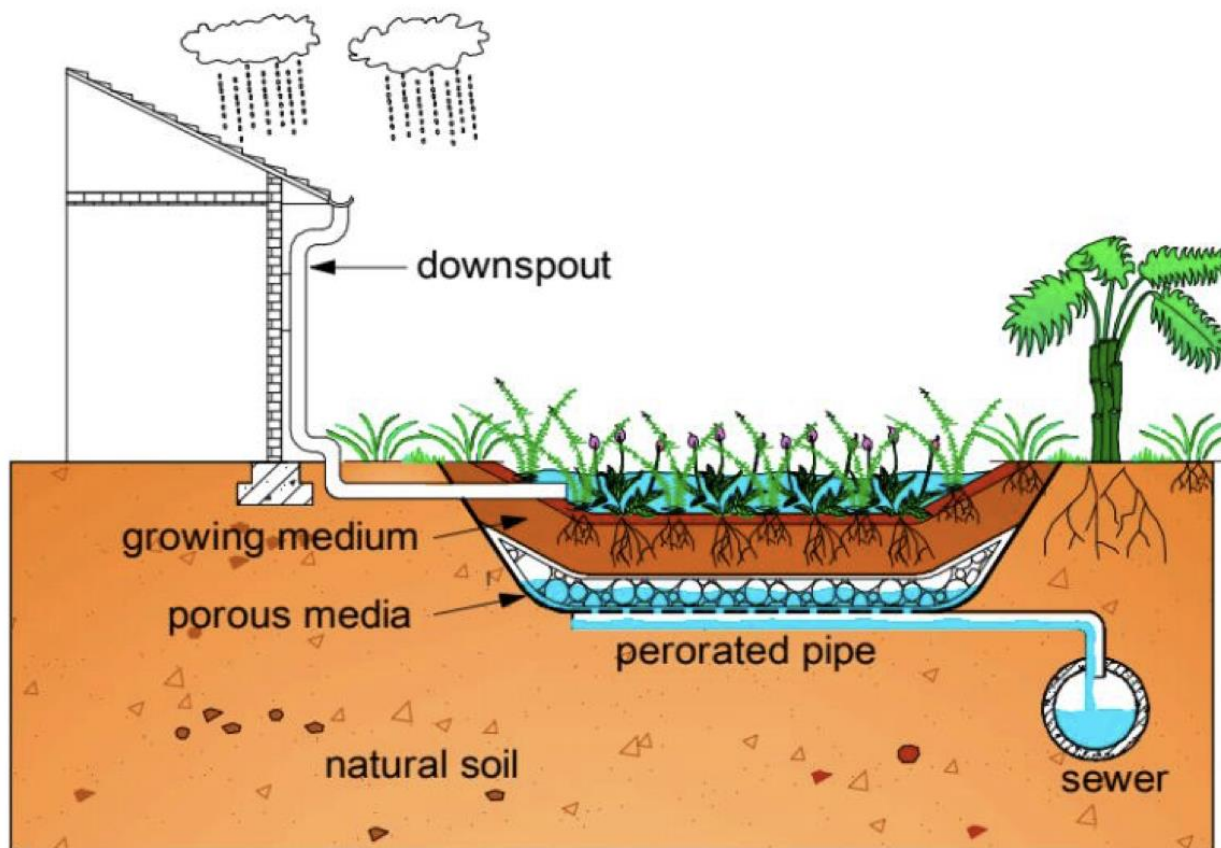
Οι κήποι βροχής αποτελούν ένα έργο ήπιας επεξεργασίας υδάτων και σε επίπεδο πηγής αλλά και σε επίπεδο γειτονιάς καθώς μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο σε ιδιωτικό όσο και σε δημόσιο χώρο μειώνοντας τον όγκο των απορροών και μετατοπίζοντας τον χρόνο της παροχής αιχμής με αποτέλεσμα, να μειώνεται σημαντικά η πίεση στα συστήματα αποχέτευσης (Αλευράς, 2023).

Η κατασκευή ενός κήπου βροχής περιλαμβάνει την αφαίρεση του επιφανειακού εδάφους (αδιαπέρατη επιφάνεια) και την δημιουργία μιας κοιλότητας. Η κοιλότητα αυτή γεμίζεται με ένα πορώδες μέσο, το οποίο διευκολύνει την αποστράγγιση του νερού, και ένα καλλιεργητικό υλικό (χώμα), κατάλληλο για την ανάπτυξη φυτών. Η επιλογή των φυτών θεωρείται καθοριστική, καθώς πρέπει να αντέχουν σε υγρές συνθήκες και να έχουν υψηλή απορροφητική ικανότητα.

Οι κήποι βροχής δρουν ως φυσικοί αποθηκευτικοί χώροι για τα όμβρια ύδατα. Κατά την διάρκεια μιας βροχόπτωσης, το νερό απορροφάται από το έδαφος και αποθηκεύεται προσωρινά στον κήπο. Εν συνεχεία, το νερό αποδίδεται σταδιακά στο έδαφος μέσω της διαπνοής των φυτών και της διήθησης. Για αυτόν τον λόγο, κατασκευάζονται συχνά

πλησίον των κτηρίων με σκοπό να συλλέξουν τα όμβρια από τις στέγες και τους υπαίθριους χώρους.

Στο Σχήμα 20, απεικονίζεται η τυπική διατομή ενός κήπου βροχής. Τα ύδατα από την στέγη καταλήγουν μέσω του σωλήνα στον κήπο, ο οποίος με την σειρά του αποδίδει το νερό στο έδαφος.



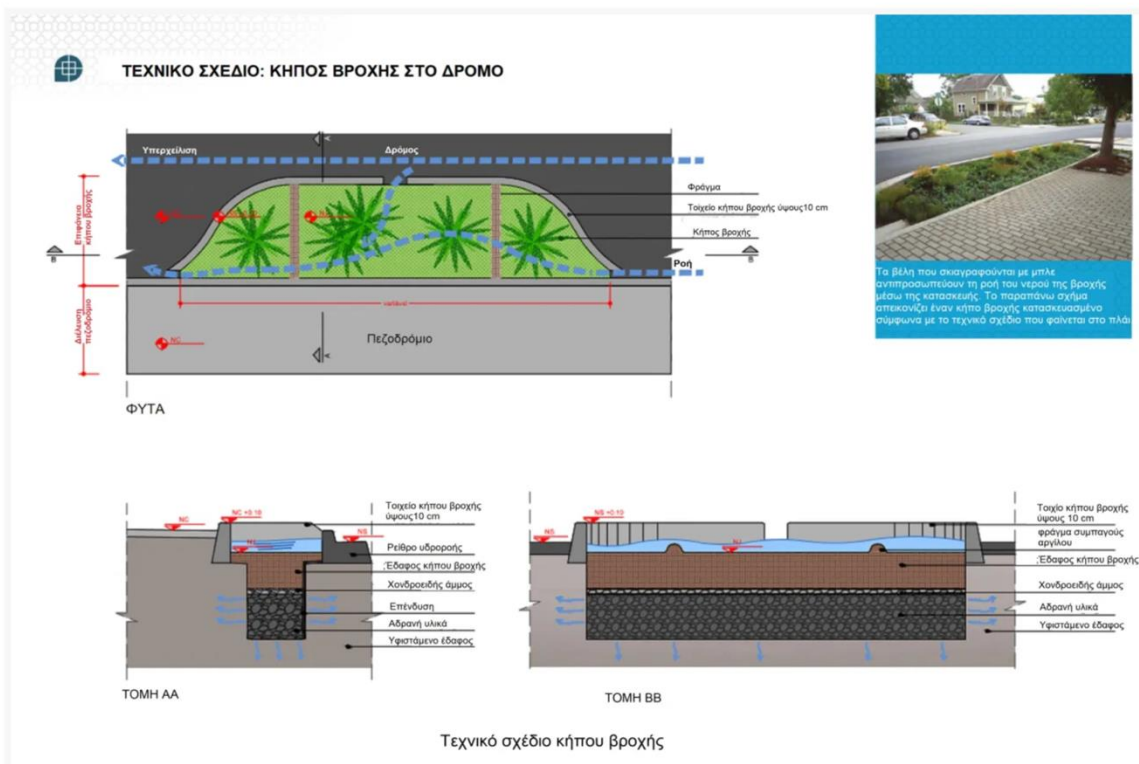
Σχήμα 20: Διατομή κήπου βροχής σε επίπεδο πηγής (Πηγή: Λεβέντης, 2023).

Κήποι βροχής σε επίπεδο γειτονίας

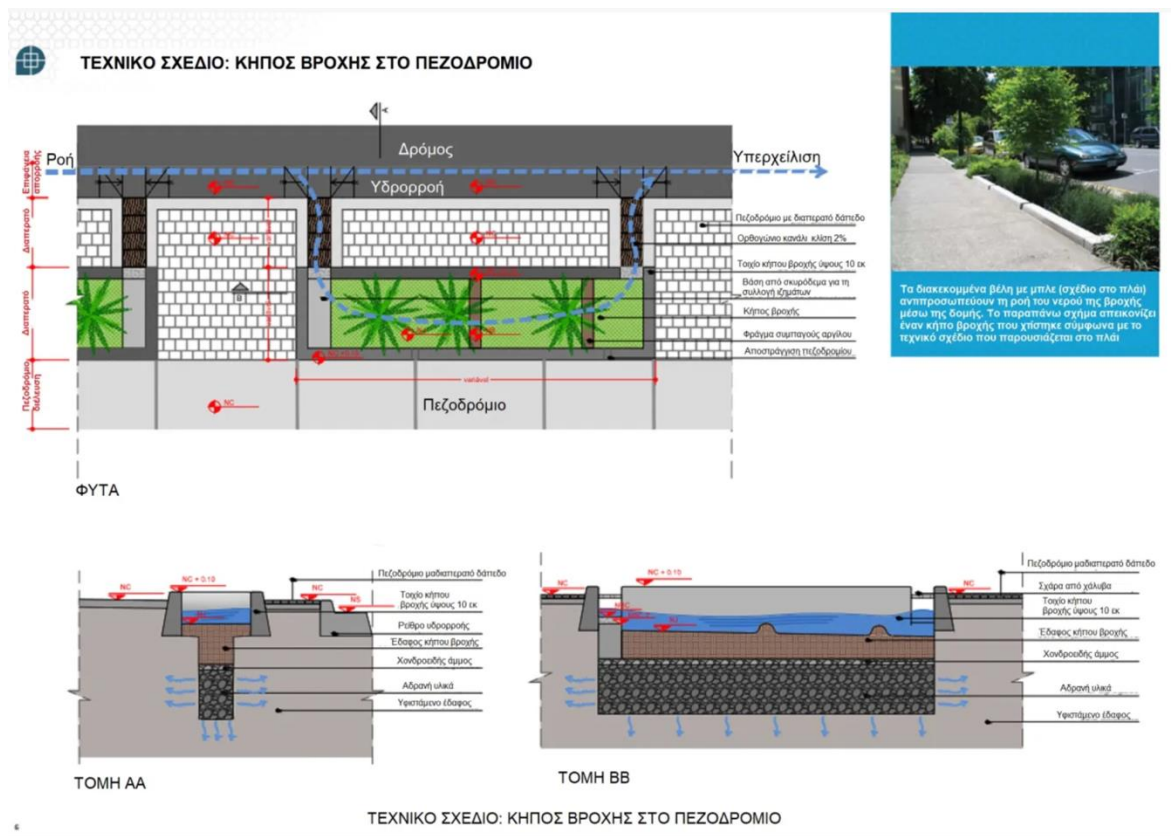
Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται και σε μεγαλύτερη κλίμακα σε περιβάλλον δημοσίου χώρου. Διακρίνονται σε πεζοδρόμια, κυκλικούς κόμβους και κεντρικά παρτέρια με την μορφή εσωτερικών ανοιγμάτων τα οποία περικλείονται για λόγους στεγανοποίησης με σκυρόδεμα. Όπως και πριν, τα ανοίγματα γεμίζονται με καλλιεργητικό πορώδες υλικό έτσι ώστε να γεμίσει στη συνέχεια με φυτά και να ελαχιστοποιήσει την έκταση των αδιαπέρατων επιφανειών του αστικού ιστού.

Κατά αυτόν τον τρόπο, μειώνεται δραστικά η ποσότητα νερού που καταλήγει στους δρόμους και τις αποχετεύσεις, ενώ η εκτεταμένη χρήση τους βελτιώνει το μικροκλίμα και προσφέρει μια αισθητική αναβάθμιση στην περιοχή εφαρμογής τους.

Στα Σχήματα 21 και 22 που ακολουθούν απεικονίζονται τεχνικά σχέδια κήπων βροχής που προορίζονται για γειτονιές του Σάο Πάολο της Βραζιλίας.



Σχήμα 21: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κήπου βροχής στον δρόμο (Πηγή: dasarxeio.com).



Σχήμα 22: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κήπου βροχής σε πεζοδρόμιο (Πηγή: dasarxeio.com).

Στο Σχήμα 23 εντοπίζονται κήποι βροχής στην περιοχή Urbanista (Πηγή: dasarxeio.com).

Σε παραπομπή διακρίνονται τα οφέλη του αντιπλημμυρικού έργου.



Σχήμα 23: Κήπος βροχής σε περιβάλλον βροχόπτωσης (Πηγή: dasarxeio.com).

Υπόγειες δεξαμενές

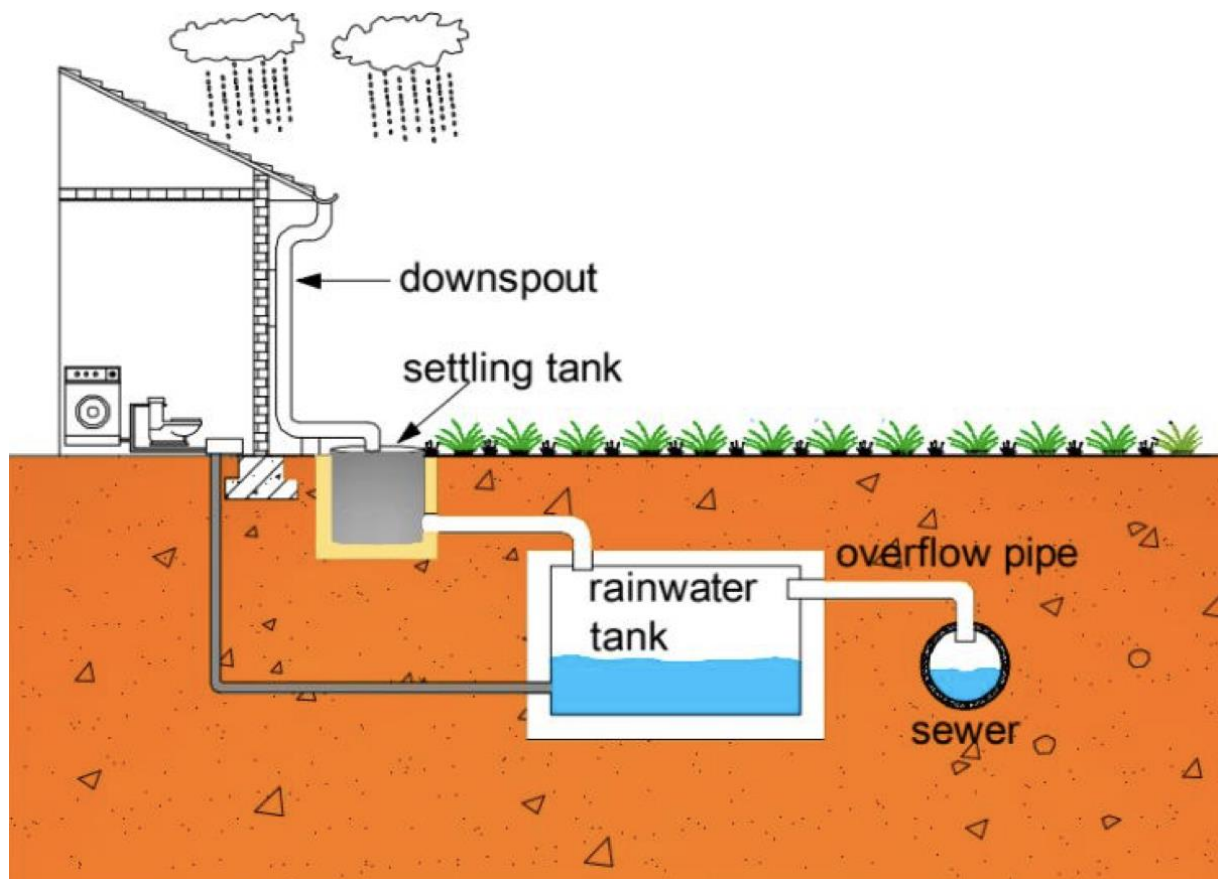
Οι υπόγειες δεξαμενές είναι ένα ήπιο αντιπλημμυρικό μέτρο με πολύ πρακτική χρήση. Αποτελείται από δεξαμενές νερού υπόγεια τοποθετημένες σε θέση κοντά σε κάποιο κτήριο. Το βρόχινο νερό από την στέγη καταλήγει σε αυτές μέσω των λουκιών.

Η αποτελεσματικότητα της δεξαμενής, εξαρτάται άμεσα από την χωρητικότητα της σε νερό αλλά και το ύψος της βροχής. Σύμφωνα με έρευνες, η χρήση μιας δεξαμενής 3 κυβικών μέτρων η οποία αντλεί όμβρια ύδατα από σκεπή επιφάνειας 100 τετραγωνικών, συντελεί σε μείωση του όγκου των απορροών σε ποσοστό κοντά στο 70%.

Στην συνέχεια το συλλεχθέν νερό αξιοποιείται στην άρδευση του κήπου, ενώ σε πολλές περιπτώσεις και με την χρήση ειδικής αντλίας και σωληνώσεων, τα αποθηκευμένα ύδατα επαναχρησιμοποιούνται στο καζανάκι της τουαλέτας ή ακόμα και στο πλυντήριο ρούχων.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μια αδιαπερατή υπόγεια δεξαμενή πρέπει να αδειάσει μέσω της χρήσης του νοικοκυριού, πριν επέλθει η επόμενη βροχόπτωση. Σε διαφορετική περίπτωση το σύστημα δεν θα λειτουργήσει σαν αντιπλημμυρικό μέσο, με την υπερχειλίση του να αποφέρει τα αντίθετα από τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Στο Σχήμα 24, παρουσιάζεται ένα σκαρίφημα υπόγειας δεξαμενής. Όπως αναφέρθηκε πριν, ο υετός συσσωρεύεται στην δεξαμενή η οποία συνδέεται με έναν αγωγό υπερχείλισης σε περίπτωση πλήρωσής της. Το Σχήμα 25 παρέχει φωτογραφική αποτύπωση μιας υπόγειας δεξαμενής μεγαλύτερης κλίμακας στην πόλη της Βαρκελώνης.



Σχήμα 24: Τυπικό σύστημα υπόγειας δεξαμενής (Πηγή: Λεβέντης, 2023).



Σχήμα 25: Υπόγεια δεξαμενή στη Βαρκελώνη (Πηγή: προσωπικό αρχείο Φελώνη Ε.).

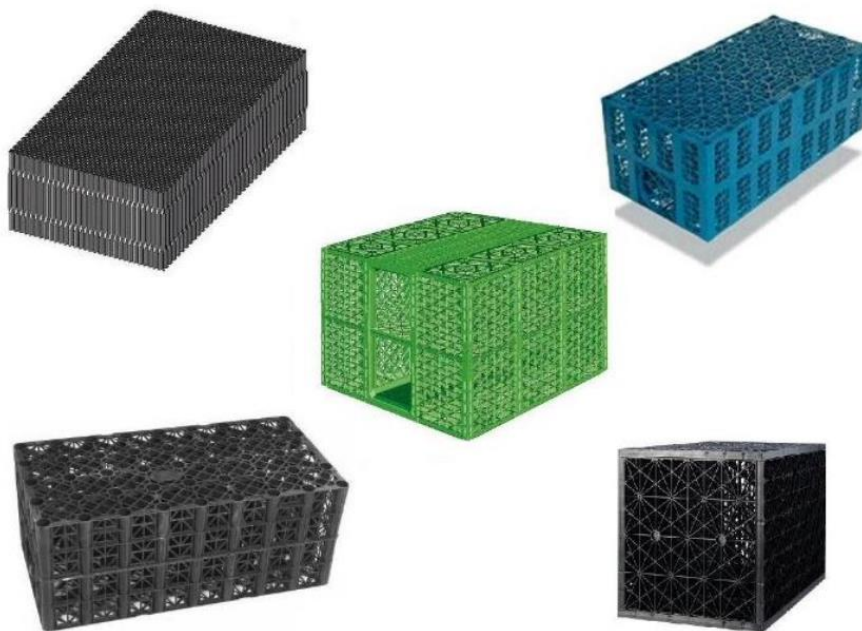
Τάφροι διήθησης

Οι τάφροι διήθησης ως τεχνικά έργα ήπιας διαχείρισης όμβριων υδάτων, αποτελούν συστήματα αποθήκευσης και διήθησης σε υποκείμενο έδαφος που συναντώνται πλησίον κάποιου κτηρίου ή ακόμα και εκατέρωθεν κάποιου οδικού άξονα, χώρου στάθμευσης και γενικώς δίπλα από κάποια αδιαπέραστη επιφάνεια.

Κατασκευασμένες κυρίως από πέτρες και θραύσματα βράχων, οι τάφροι επιτρέπουν την αργή διείσδυση του νερού στο υπέδαφος, συμβάλλοντας στην αναπλήρωση των υδροφόρων οριζόντων.

Πρακτικά, είναι οριζόντιοι επιφανειακοί λάκκοι διήθησης, που σε κάποιες περιπτώσεις είναι επενδυμένοι με γεωμεμβράνη ή κάποια αδιαπέραστη επένδυση. Σε αντίθεση με ένα λάκκο, η τάφρος κατασκευάζεται πιο επιφανειακά με δυνατότητα ίσης κατανομής των εισροών στην επιφάνεια του.

Εκτός από πέτρες, για την πλήρωση της τάφρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλαστικές διατρητές δεξαμενές αποθήκευσης νερού. Σύμφωνα με τον Dickie (Πριάρη, 2016), το σύστημα πλαστικών δεξαμενών αποθηκεύει σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες νερού χάρη στον μεγάλο όγκο κενών που διαθέτουν.



Σχήμα 26: Πλαστικές διατρητές δεξαμενές (Πηγή: Πριάρη, 2016; Sudsdrain, 2012b).

Σε μεγαλύτερη κλίμακα, όπως για παράδειγμα κοντά σε κάποιον αυτοκινητόδρομο, συνήθως τοποθετούνται σε σημεία εξαιρετικά μικρής κλίσης ή ακολουθώντας μια ισοϋψή πορεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κλίση εδάφους μεγαλύτερη του 2% η τάφρος διήθησης καθίσταται μη λειτουργική, καθώς απαιτεί χαμηλή ταχύτητα ροής. (ΠΡΙΑΡΗ 2016;Yu 2013)

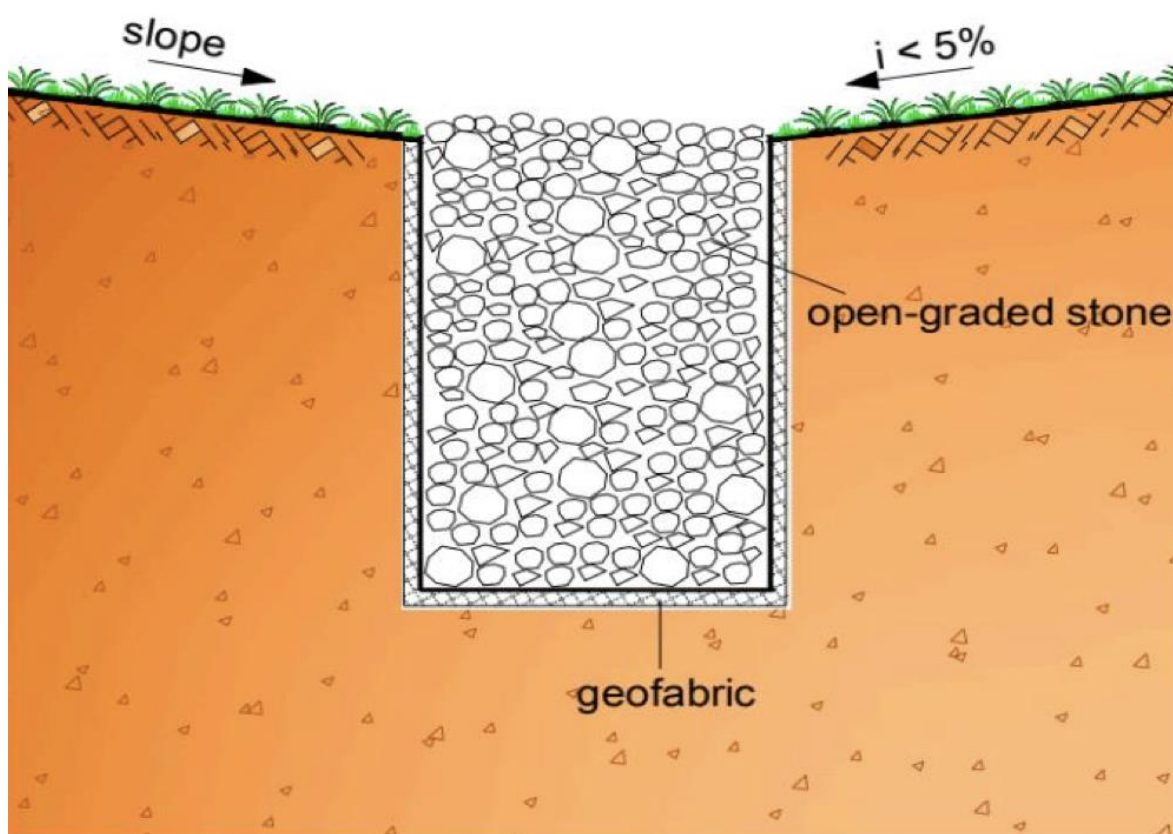
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση κάποιας τάφρου διήθησης είναι:

- Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους: Η ικανότητα του εδάφους να διηθεί νερό αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματική λειτουργία της τάφρου. Υψηλότερες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας επιταχύνουν την διήθηση και μειώνουν τον κίνδυνο υπερχείλισης.
- Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα: Η απόσταση του υδροφόρου ορίζοντα από τον πυθμένα της τάφρου επηρεάζει άμεσα την δυνατότητα αποθήκευσης και διήθησης του νερού. Μεγαλύτερα βάθη ευνοούν την αποθήκευση μεγαλύτερων όγκων νερού.

- Η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων: Επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων δύναται να υπερβούν την δυναμικότητα διήθησης των τάφρων, οδηγώντας σε υπερχειλίση.
- Προεπεξεργασία ομβρίων: Η προ επεξεργασία των όμβριων, είτε μέσω φυτεμένων παρειών, λεκανών καθίζησης ή μερικής διήθησης σε στραγγιστικό αγωγό, συμβάλλει στην διατήρηση της υδατοπερατότητας του εδάφους μακροπρόθεσμα, αποτρέποντας την απόφραξη των πόρων του εδάφους από αιωρούμενα σωματίδια.

Στο Σχήμα 27 που ακολουθεί, παρατηρούμε την διατομή μιας τάφρου διήθησης. Η κλίση του σημείου τοποθέτησης της είναι ιδιαίτερα χαμηλή (<5%) ενώ η επιφάνεια εκατέρωθεν της είναι φυτεμένη με γρασίδι για την διατήρηση της ορθής λειτουργίας του αντιπλημμυρικού έργου. Η τάφρος έχει πληρωθεί με αδρόκοκκο υλικό και γεωύφασμα στα περιμετρικά του τμήματα.

Το σχήμα 28, επιδεικνύει το έργο σε μεγαλύτερη κλίμακα.



Σχήμα 27: Τυπική Διατομή τάφρου διήθησης (Πηγή: Λεβέντης, 2023).



Σχήμα 28: Τάφος διήθησης σε κύριο οδικό άξονα της Αγγλίας (Πηγή: Πριάρη, 2016; Yu 2013).

Στο Σχήμα 29 της επόμενης σελίδας, επισυνάπτεται μια φωτογραφική αποτύπωση μιας τάφρου διήθησης στο αντιπλημμυρικό πάρκο La Marjal της Ισπανίας.

Τα όμβρια ύδατα που δεν κατακρατούνται από το περατό πεζοδρόμιο καταλήγουν στην τάφρο διήθησης η οποία είναι τοποθετημένη περίπου ένα μέτρο δίπλα.



Σχήμα 29: Τάφος διήθησης στο πάρκο La Marjal της Ισπανίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο Φελώνη Ε.).

French drain systems

Τα french drain systems, ή όπως αποκαλούνται στα ελληνικά, Συστήματα γαλλικής αποστράγγισης ή τάφροι αποστράγγισης, είναι τεχνικά έργα που εντάσσονται στην κατηγορία SuDS και χρησιμοποιούνται στην συλλογή και απομάκρυνση του υπόγειου νερού από τα θεμέλια ενός κτηρίου. Κύριος σκοπός του έργου, είναι η να αποτραπεί η συσσώρευση νερού στο έδαφος από τη άνοδο του υδροφόρου ορίζοντα λόγω μιας μεγάλης έκτασης βροχής. Στη συνέχεια, όταν η αυλή πλημμυρίσει, απορροφά την

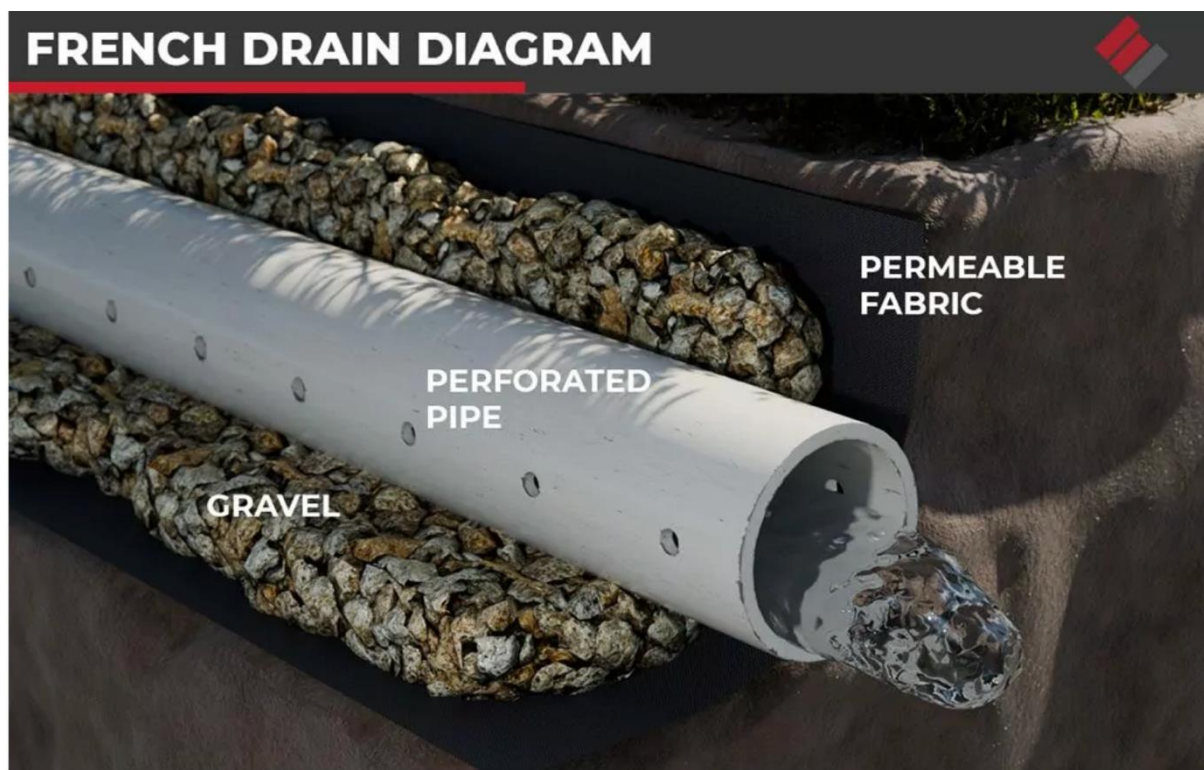
περίσσεια των όμβριων. Λογίζονται ιδιαίτερα χρήσιμα στην προστασία κτηρίων και άλλων υποδομών έναντι στην διαβρωτική ικανότητα ενός πλημμυρικού φαινομένου.

Η λειτουργία τους θεωρείται απλή, αποτελούμενη αρχικά από μια τάφρο η οποία είναι σκαμμένη με κλίση έτσι ώστε να διευκολυνθεί η ροή των όμβριων. Στο κάτω μέρος της τάφρου τοποθετείται ένας αγωγός, συνήθως διάτρητος ο οποίος και συλλέγει το νερό. Ο αγωγός και η τάφρος εν γένει καλύπτεται με υλικό πλήρωσης όπως για παράδειγμα χαλίκι ή και σπανιότερα άμμος, ενώ τελευταίο επίπεδο είναι κάποιο γεώφρασμα, υλικό το οποίο επιτρέπει αφενός την διέλευση του νερού, αλλά εμποδίζει αφετέρου την διείσδυση εδαφικού υλικού στον αγωγό.

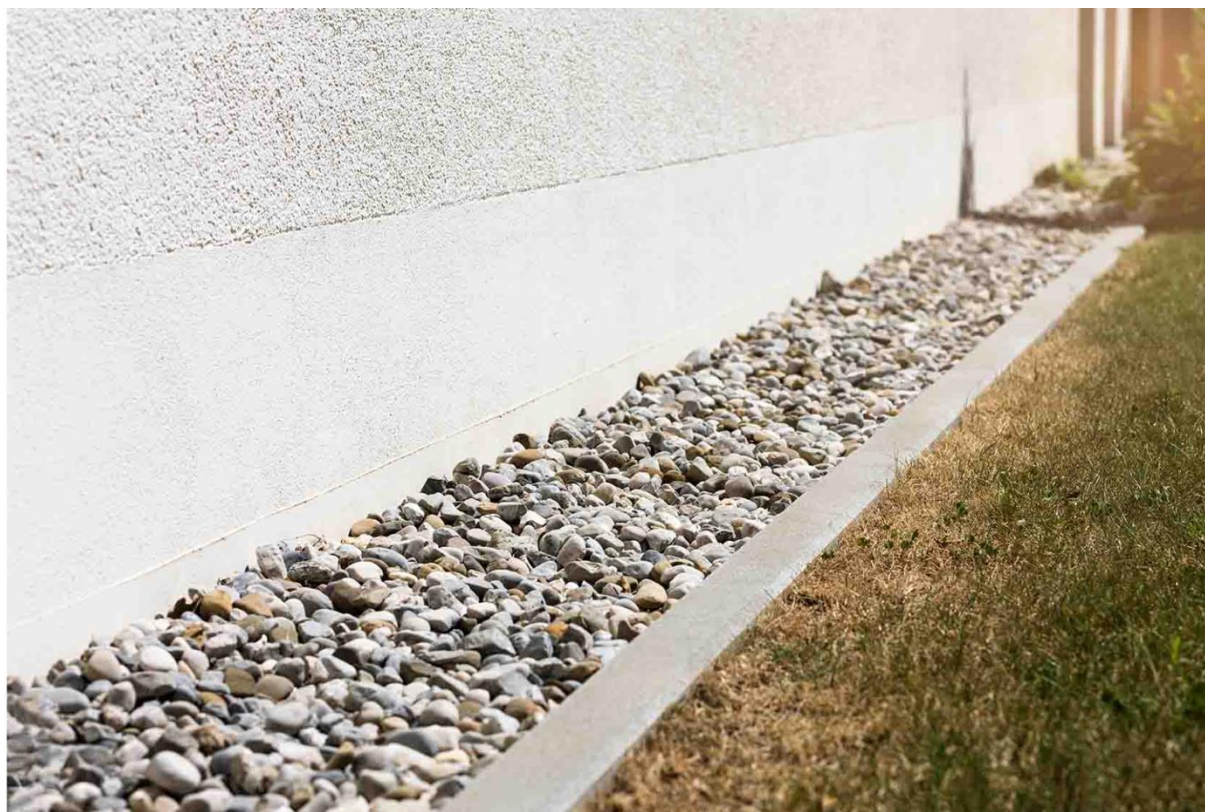
Ακολούθως, το νερό που συλλέχθηκε κατευθύνεται σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη, συνήθως το δίκτυο αποχέτευσης.

Βασικά πλεονεκτήματα των french drain systems είναι τα εξής:

- Αποτελεσματικότητα: Είναι πολύ αποτελεσματικά στην απομάκρυνση του περίσσιου υετού και συνεπώς παρεμποδίζουν την δημιουργία πλημμυρικού συμβάντος
- Μακροζωία: Η διάρκεια ζωής του έργου θεωρείται αρκετά μεγάλη εφόσον κατασκευαστεί ορθά.
- Διακριτικότητα: Η ίδια η θέση τους όσο και η δυνατότητα απόκρυψής τους με φυτά τα καθιστά πολλές φορές μη ορατά.
- Ευέλκτα: Η κατασκευή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κάθε είδους εδάφους και τοπογραφίας.



Σχήμα 30: Διάγραμμα french drain (Πηγή: eppconcrete.com).



Σχήμα 31: Εξωτερική άποψη του συστήματος (Πηγή: whenappearancematters.com).

3.4.2 SuDS Ήπιας διαχείρισης όμβριων σε επίπεδο γειτονιάς

Τα συστήματα διαχείριση όμβριων υδάτων σε επίπεδο γειτονιάς αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την διαχείριση των πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον. Σε αντίθεση με τα τοπικά SuDS που στοχεύουν σε μεμονωμένες ιδιοκτησίες ή κτήρια, τα SuDS σε επίπεδο γειτονιάς επεκτείνουν την κλίμακα παρέμβασης, ενσωματώνοντας μια ευρύτερη περιοχή.

Ως κυριότερα έργα θεωρούνται τα περατά πεζοδρόμια, τα περατά οδοστρώματα και τα διαπερατά δάπεδα, τα οποία αναλύονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

Περατά πεζοδρόμια

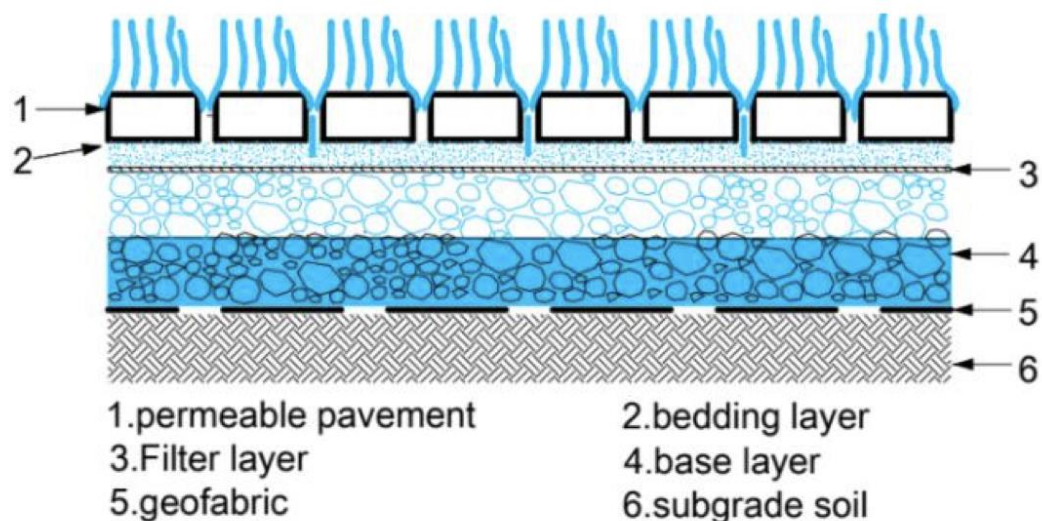
Τα περατά πεζοδρόμια αποτελούν μια καινοτόμο εφαρμογή της υδρογεωλογίας στον τομέα της αστικής υποδομής. Αυτές οι ειδικά σχεδιασμένες επιφάνειες, αποτελούμενες από πολλαπλά στρώματα υλικών με διαφορετικές ιδιότητες, επιτρέπουν την απορρόφηση και την διήθηση των ομβρίων υδρατων στο υπόστρωμα, μιμούμενοι έτσι την φυσική διαδικασία της απορροής του νερού στο έδαφος.

Η αποτελεσματικότητα των περατών πεζοδρομίων βασίζεται στην αλληλεπίδραση των υλικών που τα απαρτίζουν. Ένα τυπικό περατό πεζοδρόμιο αποτελείται από μια υδατοπερατή επιφάνεια, μια στρώση βάσης από αδρανή υλικά και ένα γεωύφασμα που εμποδίζει την φράξιση των πόρων.

Η επιλογή των υλικών και του πάχους των στρωμάτων καθορίζονται από παράγοντες όπως η ένταση των βροχοπτώσεων της περιοχής εφαρμογής, η υδρογεωλογική κατάσταση του εδάφους και οι απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας. Η κλίση του πεζοδρομίου συμβάλλει στην απομάκρυνση του νερού που δεν απορροφάτε, ενώ πολλές φορές αξιοποιείται ένας διάτρητος αγωγός για την συλλογή του πλεονάζοντος νερού.

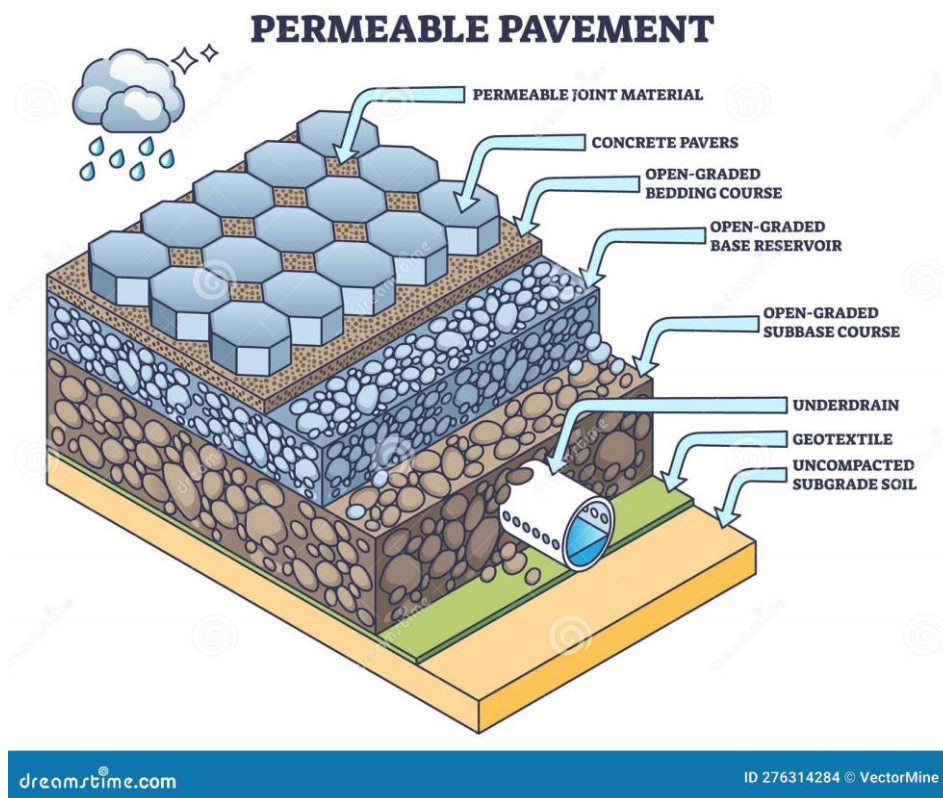
Στο Σχήμα 32 που ακολουθεί, εμφανίζονται αναλυτικά οι στρώσεις ενός περατού πεζοδρομίου. Ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω, έχουμε το υπέδαφος (6), επάνω στο οποίο τοποθετείται το γεωύφασμα (5). Ακολουθεί η στρώση βάσης, η οποία ανάλογα την κοκομετρία των υλικών της λειτουργεί σαν στρώση έδρασης (2), διήθησης (3) και βάσης (4).

Στο επιφανειακό τμήμα βρίσκεται το περατό πεζοδρόμιο του οποίου οι επιφάνειες αποτελούνται από τεχνητούς λίθους, πλέγματα πληρωμένα με εδαφικό υλικό, πλάκες από πορώδη άσφαλτο ή ακόμα και πορώδες σκυρόδεμα. (Αλευράς, 2023)

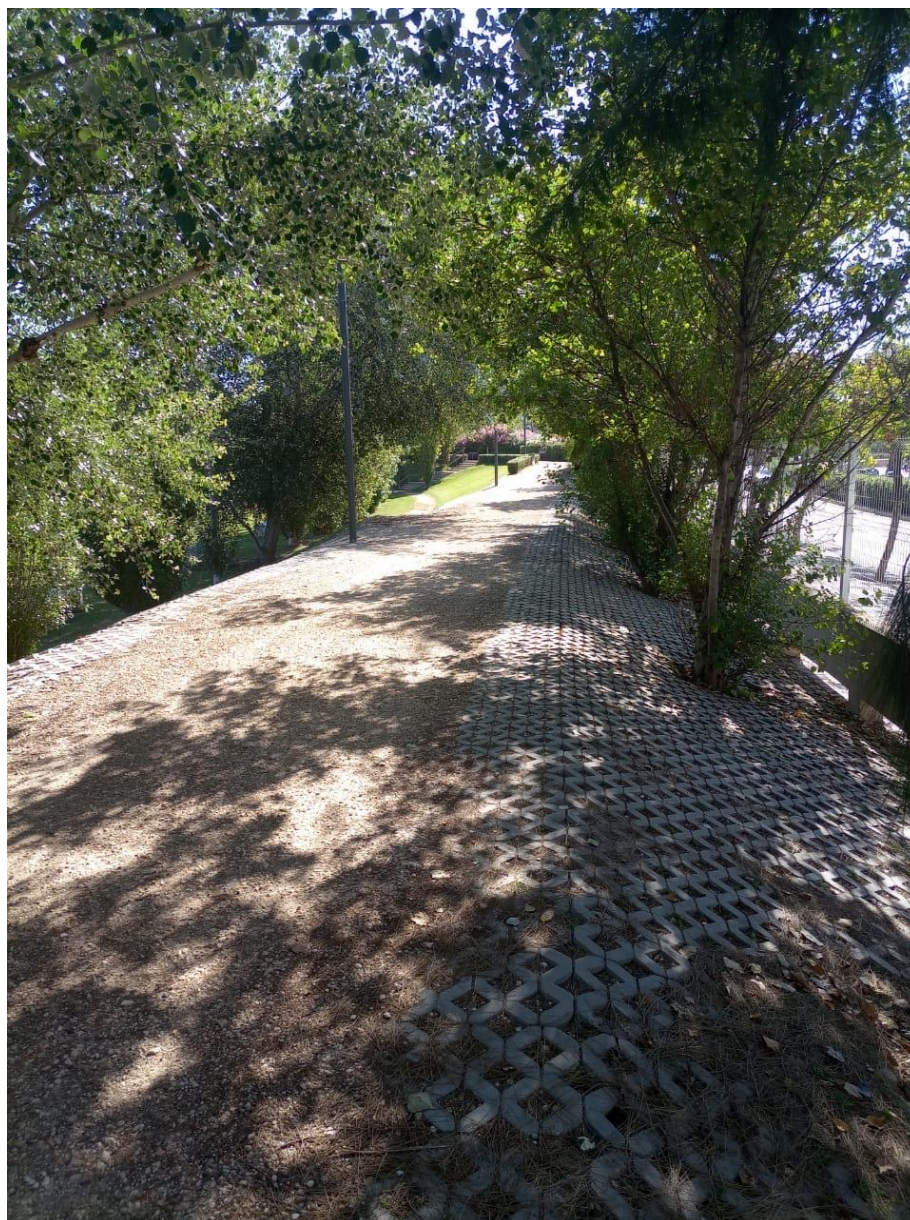


Σχήμα 32: Σχεδιάγραμμα διατομής ενός περατού πεζοδρομίου (Πηγή: Λεβέντης, 2023; Qin 2020).

Στο Σχήμα 33, έχουμε μια ακόμα αναπαράσταση της δομής ενός περατού πεζοδρομίου. Αυτή τη φορά διακρίνεται και ο διάτρητος σωλήνας τοποθετημένος πάνω από το γεώφασμα.



Σχήμα 33: Διατομή περατού πεζοδρομίου (Πηγή: [dreamstime.com](https://www.dreamstime.com)).



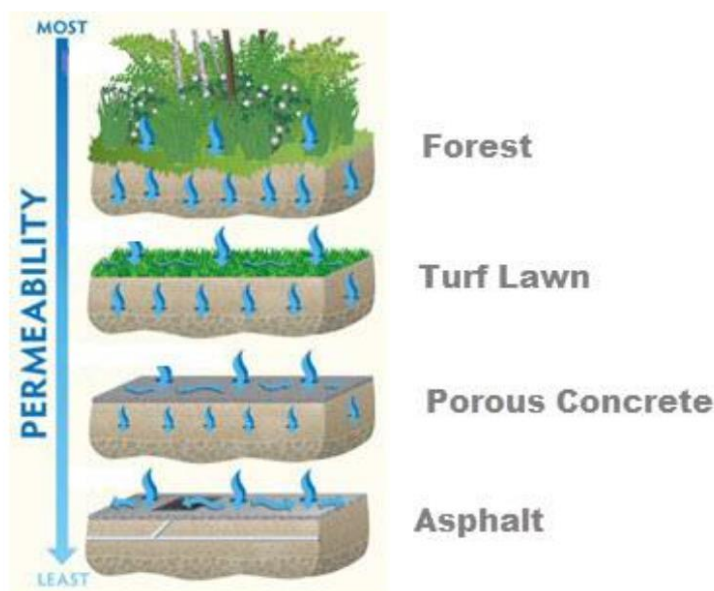
Σχήμα 34: Περατό πεζοδρόμιο στο πάρκο La Marjal της Ισπανίας (Πηγή: προσωπικό αρχείο Φελώνη Ε.).

Διαπερατά Δάπεδα

Σε συνέχεια της παραγράφου 3.4.2.1, τα διαπερατά δάπεδα αποτελούν μια πιο γενικευμένη χρήση της φιλοσοφίας των περατών πεζοδρομίων. Η εκτεταμένη χρήση αδιαπέραστων υλικών όπως το σκυρόδεμα και η άσφαλτος, αποτελούν μεθόδους στεγανοποίησης του εδάφους, και ως συνέπεια αυτών τα πλημμυρικά φαινόμενα εμφανίζονται όλο και συχνότερα και φυσικά πολύ πιο έντονα. Η επιφανειακή απορροή

μιας περιοχής με συμπιεσμένο έδαφος εκτιμάται μειωμένη κατά 20% σε σχέση με μια αδιαπερατή επιφάνεια.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 35, μια δασική έκταση δύναται να απορροφά την μέγιστη ποσότητα βρόχινου νερού σε σχέση με έναν ασφαλτόστρωτο δρόμο (Πριάρη, 2016).

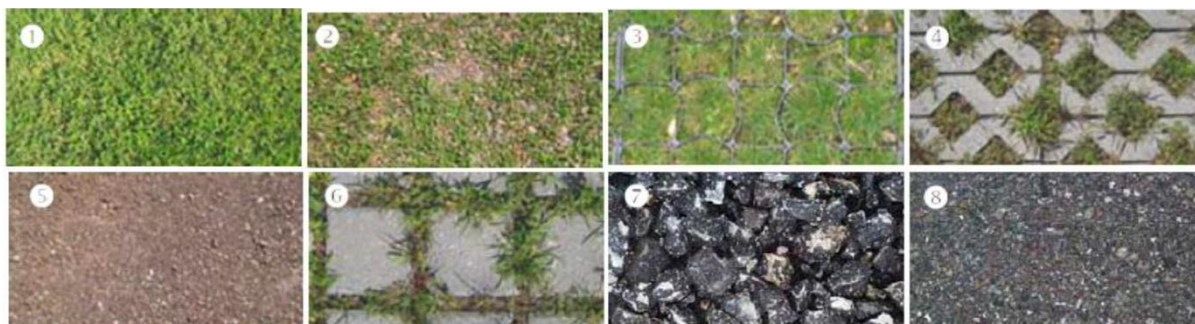


Σχήμα 35:Είδη εδαφών και διαπερατότητα.(Πηγή: Πριάρη, 2016)

Κύρια λειτουργία ενός διαπερατού δαπέδου, είναι η συλλογή των όμβριων και εν συνεχεία η διήθηση του στο υπέδαφος. Η χρήση τους καθιστά μη αναγκαία την τοποθέτηση αγωγών όμβριων, αφού το βρόχινο νερό μεταφέρεται απευθείας από την επιφάνεια στον υδροφόρο ορίζοντα έχοντας πλέον υποστεί και μια φυσική φίλτραυση (Bean et al., 2007).

Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία διαπερατών δαπέδων είναι αρκετά και αξιοποιούνται ανάλογα την περιοχή εφαρμογής και τον βαθμό διήθησης που θέλουμε να επιτευχθεί.

Η Πριάρη στην μεταπτυχιακή της εργασία εντόπισε και κατένειμε τις πιο γνωστές επιφάνειες από την πιο διαπερατή στην πιο αδιαπέραστη (Σχήμα 36).



Σχήμα 36: Καταναμημένες οι συχνότερες διαπερατές επιφάνειες (Πηγή: Πριάρη, 2016; Prokop et al., 2011).

Κατά σειρά συναντώνται:

1.Χλοοτάπητας:

Ή αλλιώς γρασίδι, θεωρείται η πιο διαπερατή επιφάνεια. Παρέχει την ελάχιστη απορροή του νερού χάρει στο πυκνό ριζικό του σύστημα ενώ εμποδίζει το φαινόμενο της θερμικής νησίδας.

2.Χαλικοτάπητας:

Αποτελεί ουσιαστικά γρασίδι ενισχυμένο με χαλίκι. Κατασκευάζεται φυτεύοντας γρασίδι σε μια βάση από κηπευτικό υλικό και εν συνεχεία γίνεται προσθήκη χαλικιού το οποίο στηρίζεται σε μια στρώση βάσης από κοκκινόχωμα ή άμμο για την εξασφάλιση της άρτιας αποστραγγιστικής ικανότητας. Συναντάται συχνά σε δρόμους και πλατείες ενώ χαρακτηρίζεται ιδανική λύση για χώρους στάθμευσης. Το μελανό του σημείο είναι η ανάγκη εύρεσης εξειδικευμένου προσωπικού για την αποτροπή δυσλειτουργίας του.

3.Πλαστικά πλέγματα με γρασίδι:

Ανακυκλώσιμα πλαστικά πλέγματα τα οποία πληρώνονται με χώμα ή λεπτόκοκκη πέτρα και κατόπιν φυτεύονται με γρασίδι. Η κατασκευή και η τοποθέτηση τους κρίνεται οικονομική, ενώ προτιμώνται σε μικρές οδούς χαμηλής κυκλοφορίας. Σύμφωνα με μελέτες, η χρήση τους αποφέρει 93% μικρότερη απορροή σε σχέση με μια συμβατική έκταση από άσφαλτο.



Σχήμα 37: Πλαστικό πλέγμα με γρασίδι (Πηγή: [geoponiko-parko.gr](http://www.geoponiko-parko.gr)).

4. Διαπερατά πλέγματα από σκυρόδεμα:

Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και μοιάζουν με τούβλα τα οποία όμως διαθέτουν κενά έτσι ώστε να επιτρέπεται η είσοδος των όμβριων. Τα κενά γεμίζουν με χαλίκι ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φυτεύεται γρασίδι. (Πριάρη, 2016; Prokop et al.2011) Συνηθίζεται να αξιοποιούνται σε μεγάλους χώρους στάθμευσης και παρά το γεγονός ότι πρέπει να συντηρούνται τακτικά, φαίνεται ότι ο συντελεστής διαπερατότητας τους είναι πολύ υψηλός.



Σχήμα 38: Πλέγμα σκυροδέματος (Πηγή: devetzoglou.gr).

5.Υδατοπερατές επιφάνειες από σκυρόδεμα:

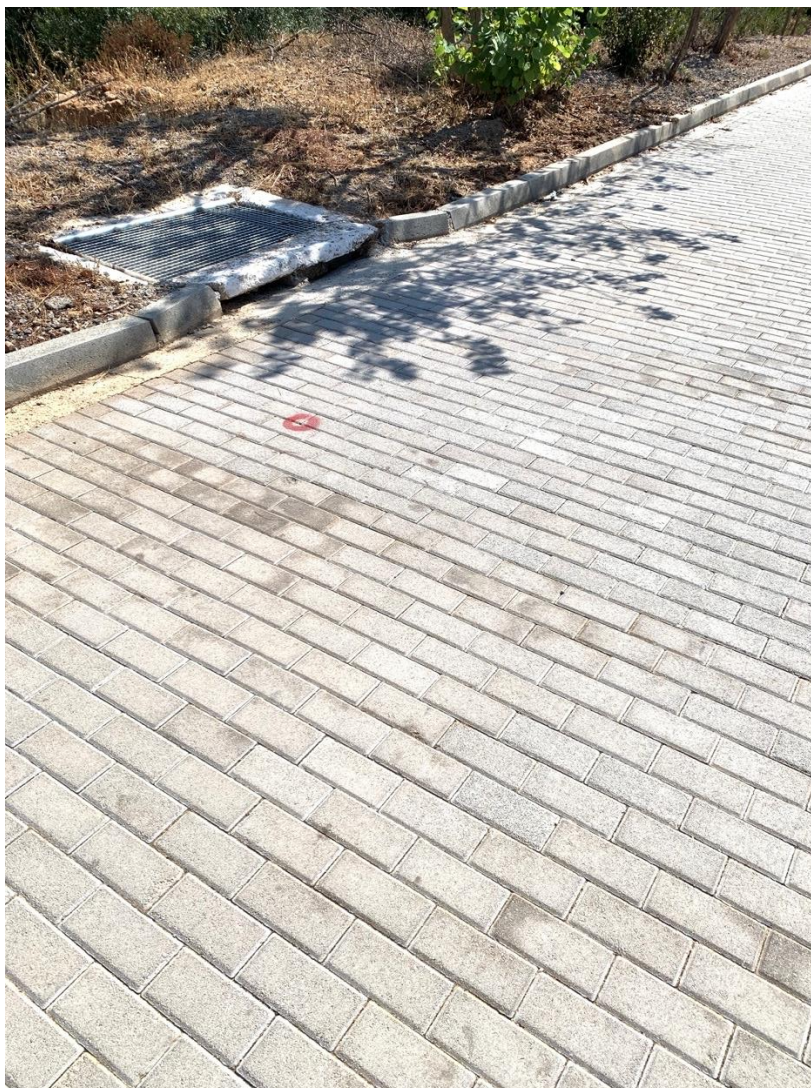
Κατασκευή που συναντάται συνήθως σε πεζόδρομους. Προτιμώνται έναντι των συμβατικών δρόμων για την ευκολία κατασκευής τους.

Σαν αρνητικό χαρακτηριστικό, λογίζεται η μεγαλύτερη ανάγκη συντήρησης τους και η δημιουργία λάσπης σε περιβάλλον βροχόπτωσης.

6.Διαπερατά δάπεδα από σκυρόδεμα:

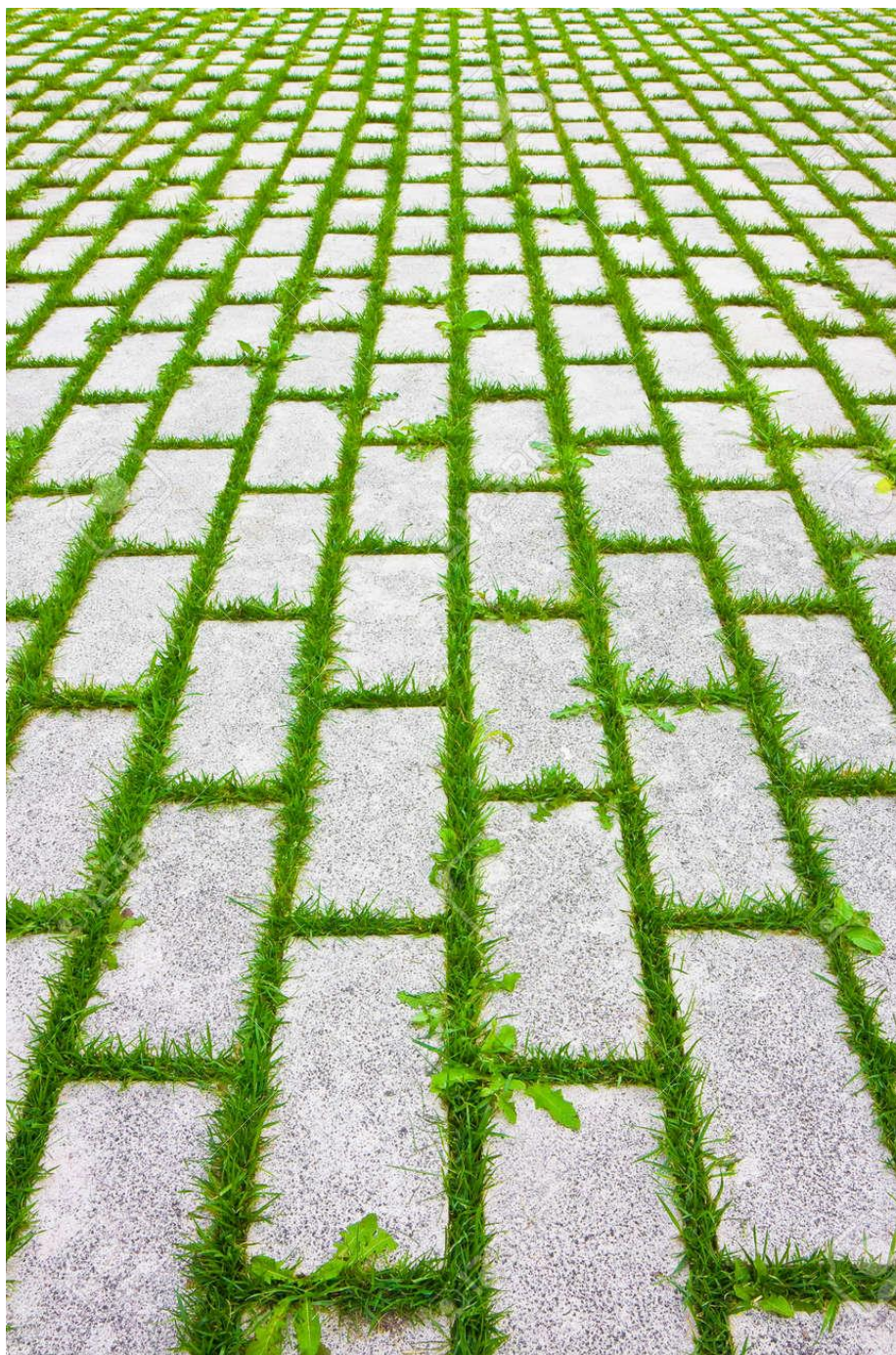
Η χρήση διαπερατού σκυροδέματος μπορεί να γίνει είτε σε μεγάλες επιφάνειες είτε τοποθετώντας το σε πλάκες, οι οποίες εμφανίζουν κενά μεταξύ τους και πληρώνονται με χώμα.(Kevern et al.2006) Σε κάποιες περιπτώσεις στο χώμα προστίθενται και σπόροι από γρασίδι, με την ανάπτυξη του οποίου επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή απορρόφηση των όμβριων.

Το Σχήμα 39, αναδεικνύει την αξιοποίηση διαπερατού σκυροδέματος σε μορφή πλάκας στον οικισμό της Καλλιτεχνούπολης του δήμου Ραφήνας. Στο άκρο του δρόμου διακρίνεται η σχάρα συλλογής των περίσσιων απορροών.



Σχήμα 39: Πλάκες σκυροδέματος (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Στο Σχήμα 40, παρατηρούνται πλάκες από πορώδη σκυρόδεμα οι οποίες δημιουργούν ένα διαπερατό δάπεδο. Τα κενά μεταξύ τους πληρώθηκαν με χώμα, ενώ προστέθηκαν και σπόροι οι οποίοι εξελίχθηκαν σε γρασίδι. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται περεταίρω η επιφανειακή απορροή, ενώ παράλληλα βελτιώνεται σημαντικά η αισθητική της περιοχής εφαρμογής του έργου.



Σχήμα 40: Διαπερατό φυτεμένο δάπεδο (Πηγή: 123rf.com).

7.Πορώδης άσφαλτος:

Η πορώδης άσφαλτος είναι ένα ειδικό είδος ασφαλτικού υλικού που διαθέτει πόρους, δηλαδή μικροσκοπικές οπές, στην επιφάνειά της. Κατά Prokop et al. (2011), τα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στους κόκκους της ασφάλτου είναι από 15% έως 20%.

Η λειτουργία της τεχνικής βασίζεται στην αρχή της διαπερατότητας. Το νερό εισχωρεί ανάμεσα από τους πόρους και καταλήγει αφού έχει υποστεί φυσική φίλτραυση, στο έδαφος. Έτσι, εκτός από την μείωση της επιφανειακής απορροής, επιτυγχάνεται και η ελάττωση του φαινομένου της θερμικής νησίδας, καθώς το πορώδες ασφαλτο απορροφά λιγότερη θερμότητα από τον ήλιο.

Το εύρος εφαρμογής της είναι μεγάλο, ωστόσο συναντάται κυρίως σε οδούς ήπιας κυκλοφορίας (Scholz & Grabowiecki, 2007).

Επιπλέον πλεονεκτήματα της πορώδους ασφάλτου είναι:

- Η βιωσιμότητα: αποτελεί μια φιλική προς το περιβάλλον λύση, συμβάλλοντας στην διαχείριση των όμβριων υδάτων και στην μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.
- Η ασφάλεια: βελτιώνει την οδική ασφάλεια, καθώς μειώνει τον κίνδυνο υδρολίσθησης σε συνθήκες βροχής.
- Η Αντοχή: η πορώδης ασφαλτος είναι εξαιρετικά ανθεκτική στην τριβή και στην φθορά.
- Η Αισθητική: μπορεί να έχει διαφορετικές αποχρώσεις και υφές, προσφέροντας μια πιο ελκυστική εμφάνιση σε σχέση με την συμβατή ασφαλτο.

Όσο αφορά τα μειονεκτήματα της τεχνικής, αυτά συναντώνται στην περιστασιακή απόφραξη της επιφανειακής πορώδους επιφάνειας από λεπτόκοκκα υλικά. Η λύση του προβλήματος βρίσκεται στην τακτική εκ πλύση του οδοστρώματος με υψηλής πίεσης νερό και σε βάθος χρόνου ακόμα και αντικατάσταση του όπως προβλέπεται και στα συμβατά οδοστρώματα.

Στο Σχήμα 41 που ακολουθεί, εμφανίζονται τα τρία είδη ασφάλτου. Στα αριστερά αντικρίζουμε μια τυπική αδιαπερατή ασφαλτος.

Η μεσαία εικόνα επιδεικνύει πορώδη ασφαλτο κατασκευασμένη με χονδρόκοκκα υλικά, ενώ στα δεξιά περιέχει λεπτόκοκκα.



Σχήμα 41: Τύποι ασφάλτου (Πηγή: Πριάρη, 2016; Prokop et al 2011).

3.5 Αντιπλημμυρικά έργα μεγάλης έκτασης

3.5.1 Διευθέτηση αστικών ποταμών

Η διευθέτηση αστικών ποταμών αποτελεί μια διαδικασία που έχει απασχολήσει επιστήμονες και μηχανικούς για αιώνες. Στόχος μιας διευθέτησης, είναι ο βέλτιστος δυνατός έλεγχος της ροής των ποταμών που διασχίζουν αστικές περιοχές, προκειμένου να προστατευθούν οι υποδομές, να μειωθούν τα πλημμυρικά επεισόδια και να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων.

Κύριο έργο, είναι η κατασκευή αναχωμάτων, καναλιών και άλλων υδραυλικών έργων όπως η εκβάνθυση της κοίτης, τα οποία αποτρέπουν την έκβαση μιας καταστροφικής πλημμύρας στις όχθες του ποταμού από την υπερχειλίση του. Κατά αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ο κατάλληλος χώρος για την ανάπτυξη αστικών κέντρων και την κατασκευή υποδομών αξιοποίησης των παραποτάμιων ζωνών. Στο Σχήμα 42 φαίνεται τμήμα του ποταμού Κηφισού, όπως αυτό έχει διευθετηθεί έως σήμερα.



Σχήμα 42: Το παράδειγμα του ποταμού Κηφισού (Πηγή: michanikos.gr).

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς πιο ολιστικές προσεγγίσεις στην διαχείριση των αστικών ποταμών. Αυτές οι προσεγγίσεις συνδυάζουν τα τεχνικά μέτρα με οικολογικές και κοινωνικές παραμέτρους, με στόχο τη δημιουργία πιο βιώσιμων και ανθεκτικών αστικών περιβαλλόντων.

3.5.2 Αντιπλημμυρικά φράγματα

Τα αντιπλημμυρικά φράγματα αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά έργα υποδομής για την προστασία των αστικών κέντρων έναντι των καταστροφικών πλημμυρών. Αυτά τα τεχνικά έργα σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με στόχο να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες νερού που προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις ή την υπερχειλίση ποταμών, προστατεύοντας έτσι τις αστικές υποδομές (Παπαλιάκου, 2023).

Συνοπτικά, μερικά είδη αντιπλημμυρικών φραγμάτων είναι:

- Τα φράγματα βαρύτητας: Κατασκευάζονται από μάζα σκυροδέματος ή πέτρας. Συναντώνται σε μεγάλες κατασκευές.
- Τα φράγματα υπερχειλίσης: Διαθέτουν ένα ειδικό τμήμα που επιτρέπει στο νερό να υπερχειλίσει εν]αν ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο.

- Τα φράγματα γεωμηχανικής: Κατασκευάζονται από φυσικά υλικά όπως χώμα, πέτρες και ξύλα ή βλάστηση.

Το σχήμα 43 περιέχει μια φωτογραφική τεκμηρίωση ενός φράγματος Γεωμηχανικής.



Σχήμα 43: Το χωμάτινο φράγμα των Κρεμαστών (Πηγή: agrinionews).

3.6 Λύσεις θωράκισης σε έκτακτες συνθήκες

Τα φαινόμενα ακραίων βροχοπτώσεων που επιφέρει η κλιματική αλλαγή, συχνά καθιστούν αδύνατη την καθολική απορρόφηση των ομβρίων υδάτων και την διήθηση τους στο υπέδαφος τόσο από τα SuDS, όσο και από τα κοινά τεχνικά έργα αντιπλημμυρικής προστασίας.

Συνεπώς, η πολιτεία οφείλει να είναι εξοπλισμένη με εύχρηστους αντιπλημμυρικούς μηχανισμούς οι οποίοι θα αξιοποιούνται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπου ο φόρτος νερού είναι τέτοιος, ώστε να μόνιμα μέτρα θωράκισης έναντι πλημμυρών θα βρίσκονται κοντά στο σημείο αποτυχίας.

3.6.1 Πτυσόμενα τοιχία

Μια νέα μέθοδος ελέγχου του περίσσειου ρέοντος νερού είναι το σύστημα Boxwall της εταιρίας NOAQ το οποίο είναι εξαιρετικά πιο αποτελεσματικό από τους κοινούς αμμόσακους που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Αυτό το φορητό, αυτοστηριζόμενο φράγμα- τοιχίο, στήνεται σε ελάχιστο χρόνο χωρίς την ανάγκη εξειδικευμένων εργατών. Η παραγωγή του γίνεται σε δύο ύψη (0,5 και 1 μέτρο) και το βάρος κυμαίνεται στα 6,5 και 15 κιλά αντίστοιχα.

Καθάρως σχεδιασμένο για αστικές περιοχές, προσφέρει αποτελεσματική προστασία σε πολλών ειδών επιφάνειες, ενώ η σταθερότητα του εξασφαλίζεται από το ίδιο το βάρος του νερού που καλείται να συγκρατήσει.

Η χρήση του λογίζεται αξιόπιστη, ενώ σύμφωνα με την εταιρία παραγωγής του, απαιτούνται μόλις 2 άτομα και 30 λεπτά της ώρας για να κατασκευαστεί ένα τοιχίο μήκους 100 μέτρων (idator.gr). Το Σχήμα 44 επιδικνύει την ικανότητα κατακράτησης του Boxwall.



Σχήμα 44: Το σύστημα Boxwall (Πηγή: idator.gr).

3.6.2 Φουσκωτά φράγματα

Το σύστημα Beaver, είναι ένα καινοτόμο σύστημα προστασίας από πλημμύρες που αποτελείται από εύκαμπτους σωλήνες. Αυτοί οι σωλήνες συνδέονται μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα φράγμα που φουσκώνει αρχικά με αέρα και στη συνέχεια πληρώνεται με νερό. Η γρήγορη τοποθέτηση και η εύκολη μεταφορά του συστήματος, το καθιστούν ιδανικό για την άμεση προστασία πλημμυρισμένων περιοχών.

Ακολουθεί φωτογραφική τεκμηρίωση στο Σχήμα 45.



Σχήμα 45: Το φουσκωτό φράγμα Beaver (Πηγή: ivator.gr).

3.7 Το διεθνές παράδειγμα: «Πόλεις σφουγγάρια - Σύστημα S.D.C» (case study Κίνα)

3.7.1 Ορισμός

Οι πόλεις σφουγγάρια (sponge city) αποτελούν μια πρωτοποριακή πρωτοβουλία της Κίνας που έχει ως στόχο την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν οι έντονες βροχοπτώσεις και πλημμύριες στις σύγχρονες αστικές ζώνες.

Η γενικότερη φιλοσοφία αφορά την λειτουργία μιας πόλης ως σφουγγάρι, η οποία δύναται να απορροφά ιδανικά, το σύνολο του νετού, και εν συνεχεία να το μεταβιβάζει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες της πόλης. Σε δεύτερη φάση, και μέσω υδραυλικών έργων και πηγαδιών, τα όμβρια ύδατα συλλέγονται, επεξεργάζονται και ανατροφοδοτούνται στην πόλη, αυτήν την φορά για αστική χρήση.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί, το γεγονός ότι οι πόλεις σφουγγάρια έχουν ως στόχο να

απορροφήσουν και όχι να διαχειριστούν – μεταφέρουν τα όμβρια ύδατα (Σάκκα, 2022).

3.7.2 Στόχος της καινοτομίας

Μια πόλη σφουγγάρι έχει ως πρωταρχικό στόχο την εξάλειψη των δυσάρεστων επιπτώσεων μιας ξαφνικής καταιγίδας. Ειδικότερα, οι πόλεις αυτές σκοπεύουν :

- Βελτιστοποίηση της υδρολογικής λειτουργίας: Αποκατάσταση της φυσικής ικανότητας του αστικού τοπίου να διαχειρίζεται τα όμβρια ύδατα, μιμούμενο τις φυσικές διεργασίες που επικρατούσαν στην περιοχή πριν αυτή αστικοποιηθεί.
- Μείωση της ρύπανσης των υδάτων: Με την μείωση της επιφανειακής απορροής περιορίζεται η μεταφορά ρύπων από της αστικές περιοχές προς τα υδάτινα συστήματα.
- Μείωση του πλημμυρικού κινδύνου: Η αποθήκευση και η βραδύτερη αποδέσμευση του νερού της βροχής μειώνει την πιθανότητα πλημμυρικών φαινομένων.
- Βελτίωση της ποιότητας του εδάφους: Η αύξηση της διήθησης του νερού συμβάλλει στην αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων και στην βελτίωση της εδαφικής υγείας.
- Μείωση της θερμοκρασίας σε επίπεδο πόλης: Η αύξηση της βλάστησης και η χρήση υλικών υψηλής θερμικής μάζας συμβάλλουν στην μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

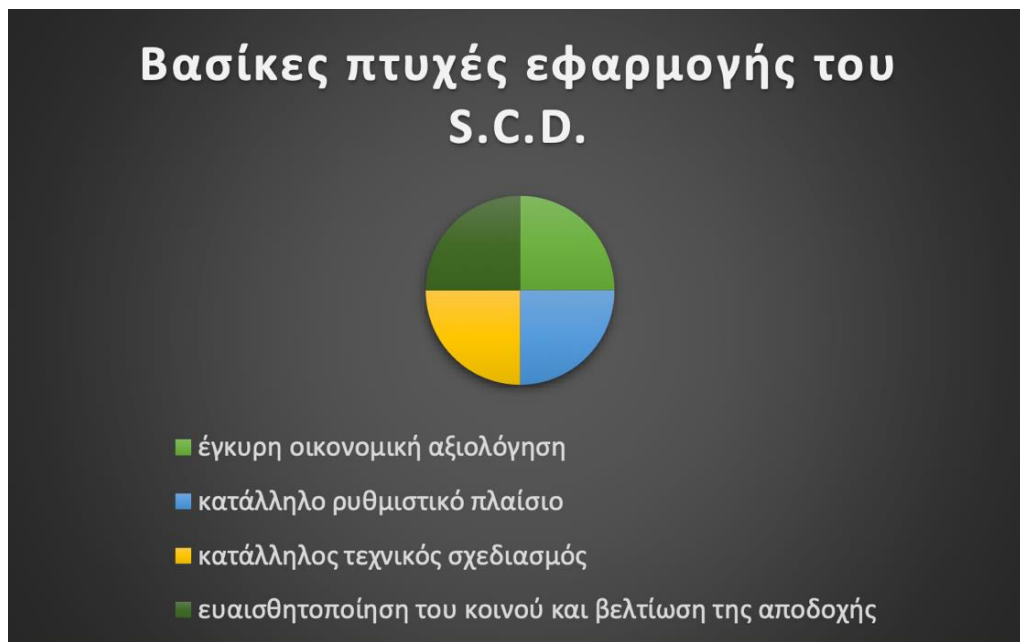
Η δημιουργία ενός συστήματος S.D.C (sponge city development), προϋποθέτει τον συντονισμό πολλαπλών φορέων και την προσεκτική μελέτη του έργου. Αρχικά, απαιτείται μια λεπτομερής ανάλυση ως προς την αρχική οικονομική επένδυση, των λειτουργικών εξόδων και των μακροπρόθεσμων οικονομικών οφελών του έργου. Στο επίπεδο του ρυθμιστικού πλαισίου, είναι ζωτικής σημασίας η εξασφάλιση πάσης φύσεως νομιμότητας των τεχνικών παρεμβάσεων που πρόκειται να λάβουν χώρα στην πόλη, λαμβάνοντας υπόψη τη νομοθεσία περί διαχείρισης υδάτων και περιβάλλοντος και της αιφόρου ανάπτυξης.

Σημαντικός επίσης κρίνεται και ο τεχνικός σχεδιασμός. Το σύστημα S.D.C οφείλει να λαμβάνει υπόψη όλες τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής εφαρμογής, όπως το κλίμα, η γεωμορφολογία, η υδρολογία και φυσικά η αστική ανάπτυξη. Η εφαρμογή τεχνολογιών αιχμής (GIS και μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης), είναι απαραίτητη για την αποτελεσματικότητα του έργου.

Τελευταία και πιο αναγκαία προϋπόθεση, είναι η κοινωνική συνοχή. Η πόλη σφουγγάρι

δεν είναι δυνατό να ευδοκιμήσει αν πρώτα δεν έχει πραγματοποιηθεί η απαραίτητη ενημέρωση των πολιτών για τα αίτια της ανάγκης εφαρμογής, τα οφέλη και τον τρόπο λειτουργίας ενός S.D.C

Στο Σχήμα 44, απεικονίζεται ένα γράφημα που συνοψίζει της προϋποθέσεις εφαρμογής του S.D.C.



Σχήμα 46: Προϋποθέσεις εφαρμογής S.D.C. (Πηγή: Σάκκα, 2022).

3.7.3 Τρόπος λειτουργίας - Παράδειγμα

Οι πόλεις σφουγγάρια διαφέρουν με μια τυπική πόλη σε επίπεδα δομής και φιλοσοφίας. Τα κλασικά συστήματα διαχείρισης όμβριων, όπως για παράδειγμα οι αποχετεύσεις δίνουν την θόπωςτους σε νέες πρωτοποριακές λύσεις, με τα SuDS να αξιοποιούνται κατά κύριο λόγο.

Η πρόταση στοχεύει στην ανακατασκευή του αστικού περιβάλλοντος, με σκοπό την αποκατάσταση των φυσικών διεργασιών.

Σε πρώτη φάση, γίνεται αντικατάσταση των αδιαπέραστων υλικών του αστικούόπωςίου όπως το σκυρόδεμα και η ασφαλτος με διαπερατά, τα πιο γνωστά εκ των οποίων είναι το πορώδες ασφαλτικό μίγμα, τα διαπερατά δάπεδα και τα φυσικά υλικά εν γένει.

Παράλληλα δημιουργούνται χώροι ανοικτού πρασίνου σε επίπεδα γειτονίας, όπως είναι οι κήποι βροχής και οι χώροι πρασίνου με υδάτινα στοιχεία (λίμνες, κανάλια), που επιτρέπουν την απορρόφηση και την διήθηση των υδάτων στο έδαφος.

Τα κτήρια υιοθετούν την καινοτομία των πράσινων στεγών και τοίχων λειτουργώντας ως φυσικά φίλτρα. Σε μεγαλύτερη κλίμακα, κατασκευάζονται συστήματα συγκράτησης και καθαρισμού των όμβριων όπως οι βιολογικοί καθαρισμοί και οι υγρότοποι. Τέλος, αναπτύσσονται δίκτυα αποστράγγισης που συνδέουν τις διαπερατές επιφάνειες με το έδαφος, εξασφαλίζοντας έτσι, την φυσική απορρόφηση του νερού.

Στο σχήμα 45, παρατηρούμε μια φυσική λίμνη η οποία βοηθά στην αποθήκευση της βροχής στον οικολογικό διάδρομο της πόλης Τσιενάν, μιας πόλης στην επαρχία Χεμπέι της Κίνας.



Σχήμα 47: Τεχνητή λίμνη στην πόλη Τσιενάν της Κίνας (Πηγή: npr.org).

Το πάρκο υγροτόπων Σάνια Ντόγκαν, (φωτογραφική αποτύπωση Σχήματος 46) που βρίσκεται στην Σάνια της επαρχίας Χαιναν της Κίνας αποτελεί ένα τρανταχτό παράδειγμα της πόλης σφουγγάρι.

Έχοντας ενσωματώσει φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά, το πάρκο έχει μετατρέψει μια περιοχή που προηγουμένως αντιμετώπιζε συχνές πλημμύρες σε μια ανθούσα οικολογική όαση.

Το πάρκο ενσωματώνει ένα εκτεταμένο δίκτυο καναλιών, λιμνών και υγροτόπων για την συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία του βρόχινου νερού. Μέσω των πολλαπλών πράσινων υποδομών του, (πάρκα, δένδρα κλπ) συμβάλει στην δραματική μείωση της απορροής των όμβριων. Τέλος, εκτός το ότι ο σχεδιασμός του τονίζει τις αρχές της αειφορίας, μέσω της μείωσης των διαπερατών επιφανειών και την προώθηση της βιοποικιλότητας, αποτελεί πόλο έλξης για εκπαιδευτικές δραστηριότητες και αναψυχή.



Σχήμα 48: Το πάρκο υγροτόπων Σάνια Ντογκαν (Πηγή: dirt.asla.org).

Στο επόμενο Σχήμα (47), συναντάμε μια ‘φανταστική’ απεικόνιση μιας πόλης σφουγγάρι. Οι οδικοί άξονες είναι κατασκευασμένοι από πορώδη άσφαλτο, ενώ εκατέρωθεν τους εμφανίζονται τα διαπερατά πεζοδρόμια. Η περίσσεια όμβριων καταλήγει σε φυσική λίμνη πλησίον του δρόμου η οποία βρίσκεται εντός ενός πάρκου στα πρότυπα σφουγγαριού.



Σχήμα 49: Sponge city concept (Πηγή: earth.org).

3.8 Βέλτιστες πρακτικές εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου

Το μοντέλο της πόλης σφουγγαριού που αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι αρκετά αξιόπιστο και απόλυτα επαναστατικό. Ωστόσο, στα πλαίσια της βέλτιστης λειτουργίας του σε περιβάλλον πυκνής αστικής δόμησης, θα ήταν συνετή η χρήση της τεχνολογίας, όπου με μαθηματικά μοντέλα που συνδιάζουν και αναλύουν την επιδεκτικότητα σε πλημμύρες της εκάστοτε περιοχής εφαρμογής, οι επιστήμονες θα καταφέρουν να εντοπίσουν τα τρωτά σημεία της πόλης και να εφαρμόσουν τα κατάλληλα αντιπλημμυρικά μέτρα.

Σύμφωνα με την έρευνα του άρθρου sustainability (2021), στα πλαίσια μελέτης της μιας κεντρικής πλατείας της πόλης Reggio Calabria, επιλέχθηκε να συνδιαστούν δύο διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα για την δημιουργία ενός ευρύτερου φάσματος αποτελεσμάτων. Τα SWMM και MODCEL, αξιοποιήθηκαν παράλληλα, με το πρώτο να "επιβλέπει" τους αγωγούς αποχέτευσης και το δεύτερο να επικεντρώνεται στην αναπαράσταση της απορροής και των αλληλεπιδράσεων της με τον αστικό ιστό και τα υδραυλικά έργα της πόλης (πηγή: άρθρο: sustainability, 2021).

Το συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι η χρήση μοντέλων αντιπλημμυρικής εκτίμησης συνδράμει στην βέλτιστη δυνατή απόδοση των αντιπλημμυρικών έργων ήπιας μορφής (SuDS) και στην μέγιστη δυνατή προστασία της πόλης εφαρμογής.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Σύνοψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε καθαρά ερευνητικό - βιβλιογραφικό χαρακτήρα, εστιάζοντας στην κατανόηση και αντιμετώπιση των πλημμυρών στις αστικές περιοχές. Η ανάλυση βασικών εννοιών όπως οι πλημμύρες και η ανθεκτικότητα, η ανάδειξη των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες αστικές ζώνες, καθώς και η παρουσίαση αιφώρων και καινοτόμων λύσεων αποτελούν τους κύριους πυλώνες της έρευνας.

Συνοπτικά, εισήχθησαν και αναλύθηκαν θεμελιώδεις έννοιες όπως αυτή της πλημμύρας, της τρωτότητας και του κινδύνου. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκε η σύγχρονη παγκόσμια και ελληνική πραγματικότητα, με έμφαση στην ευπάθεια των αστικών περιοχών έναντι των πλημμυρών. Παράλληλα, προτάθηκαν νέες πρωτοποριακές, πράσινες μέθοδοι αντιμετώπισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, όπως τα Συστήματα Ήπιας Αντιπλημμυρικής Προστασίας (SuDS), που μιμούνται τις φυσικές διαδικασίες και προωθούν την αειφορία.

Η βιβλιογραφική έρευνα γίνεται δεδομένης της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής με την αύξηση της συχνότητας και έντασης των πλημμυρικών φαινομένων και αναλύονται τα αίτια που καθιστούν τις αστικές περιοχές ιδιαίτερα ευάλωτες. Παρουσιάζονται παραδείγματα από τον διεθνή και ελληνικό χώρο, που καταδεικνύουν την ανάγκη για αποτελεσματικές λύσεις. Ειδικότερα, αναφέρεται στην Ευρωπαϊκή οδηγία 2007/60/EK, η οποία προωθεί τη χρήση πράσινων και αιφώρων μέτρων για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, και παραθέτει την εφαρμογή αυτών των μέτρων σε διάφορες χώρες, με πρωτοπόρο την Κίνα και την έννοια των "πόλεων-σφουγγαριών".

Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία προσφέρει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ενδυνάμωση της ανθεκτικότητας των πόλεων έναντι των πλημμυρών, προτείνοντας στρατηγικές και πρακτικές που μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία βιώσιμων και ασφαλών αστικών περιβαλλόντων.

4.2 Συμπεράσματα

Η πλημμυρική προστασία των αστικών περιοχών αποτελεί ένα μείζον ζήτημα για τον σύγχρονο κόσμο. Μέσα από εκτενή έρευνα, καταδεικνύεται ότι οι πλημμύρες σε επίπεδο αστικού ιστού είναι ένα σύνθετο φαινόμενο με πολλαπλές αιτίες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι κυριότερες αιτίες που αναλύθηκαν είναι:

- Αλλαγές χρήσεων γης: Η αύξηση των αδιαπέρατων επιφανειών (άσφαλτος, σκυρόδεμα) μειώνει την ικανότητα απορρόφησης του εδάφους, εντείνοντας το φαινόμενο της απορροής.
- Ανεπάρκεια δικτύων αποχέτευσης: Η υποδιαστασιολόγηση ή η ελλιπής συντήρηση των δικτύων αποχέτευσης δεν επαρκούν για να διαχειριστούν τις αυξημένες ποσότητες όμβριων υδάτων.
- Κλιματική αλλαγή: Η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων αυξάνει τον κίνδυνο πλημμυρών.
- Βάσει των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, προτείνονται συγκεκριμένες λύσεις βασισμένες σε Συστήματα Ήπιας Αντιπλημμυρικής Προστασίας (SuDS), οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στις αστικές περιοχές. Τα SuDS προσφέρουν μια ολιστική προσέγγιση για τη διαχείριση των όμβριων υδάτων, μιμούμενα τους φυσικούς κύκλους του νερού και συμβάλλοντας στην αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας.

Μέσα από την παρουσίαση διαφόρων παραδειγμάτων ήπιας αντιπλημμυρικής προστασίας, διαπιστώνεται ότι κερδίζουν έδαφος λόγω της ευκολίας εγκατάστασης και της αποτελεσματικότητάς τους. Συγκεκριμένα:

- Πράσινες στέγες: Οι φυτεμένες στέγες απορροφούν μεγάλο ποσοστό νετού, αποτρέποντας την κατάληξή του στους δρόμους και τα πεζοδρόμια.
- Πορώδης άσφαλτος: Η πορώδης άσφαλτος απορροφά μέρος των ομβρίων υδάτων, μειώνοντας τον χρόνο της επιφανειακής απορροής.
- Κήποι βροχής: Οι κήποι βροχής μειώνουν τα ποσοστά αδιαπέρατων επιφανειών σε μια γειτονιά και βελτιώνουν σημαντικά την αισθητική της περιοχής.
- Περατά πεζοδρόμια: Τα περατά πεζοδρόμια, όπως και η πορώδης άσφαλτος, απορροφούν νερό και εγκαθίστανται εύκολα και οικονομικά.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή των SuDS αποτελεί μια αποτελεσματική και βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση των πλημμυρών σε αστικές περιοχές. Η ταχεία ενσωμάτωσή τους στις πόλεις απαιτεί την ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης των όμβριων υδάτων,

τη συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και την ευαισθητοποίηση και επαρκή πληροφόρηση των πολιτών.

Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η πολιτική βούληση, η οικονομική υποστήριξη και η συνεχής εκπαίδευση των εμπλεκόμενων, προκειμένου να δημιουργηθούν ανθεκτικές και βιώσιμες πόλεις, ικανές να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και των πλημμυρών.

4.3 Προτάσεις

Με δεδομένη την αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς και την έλλειψη σοβαρής αντιμετώπισης του ζητήματος των πλημμυρών, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για άμεση και αποφασιστική δράση. Στην Ελλάδα, ειδικότερα, όπου οι αστικές υποδομές και τα βασικά εγγειοβελτιωτικά και αντιπλημμυρικά έργα βρίσκονται σε παρακμή, θέτοντας κάθε χρόνο σε κίνδυνο χιλιάδες πολίτες, είναι ζωτικής σημασίας η άμεση δράση της πολιτείας.

Η κλιματική αλλαγή και οι καταστροφές που συνεπάγεται επιβάλλουν τον στρατηγικό εκσυγχρονισμό των τεχνικών έργων και την υιοθέτηση νέων πρακτικών ήπιας αντιπλημμυρικής προστασίας, όπως τα Συστήματα Ήπιας Αντιπλημμυρικής Προστασίας (SuDS). Τα SuDS όχι μόνο θα μειώσουν την ένταση των πλημμυρών, αλλά θα διευκολύνουν και τη λειτουργία των αστικών φρεατίων και άλλων υδάτινων υποδοχέων. Ωστόσο, ο μηχανισμός αντιπλημμυρικής προστασίας δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνο με άρτιες και σύγχρονες υποδομές. Τα κράτη έχουν την υποχρέωση να παρέχουν σαφή και επαρκή ενημέρωση στους πολίτες σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τη σημασία του ορθού σχεδιασμού, τα αίτια της ανάγκης κατασκευής πράσινων υποδομών, τον τρόπο λειτουργίας τους, και την υποχρέωσή τους να προστατεύουν τις δημόσιες υποδομές και να κατασκευάζουν και να συντηρούν τα δικά τους συστήματα ήπιας αντιπλημμυρικής προστασίας.

Παράλληλα, το κράτος πρέπει να εφαρμόσει αυστηρά και αμερόληπτα την τεχνική νομοθεσία, εξαλείφοντας την αυθαίρετη δόμηση που δυσχεραίνει την ομαλή ροή των όμβριων υδάτων. Μέσω της μεθόδου διευθέτησης των υδατορεμάτων και των αναδασώσεων καμένων εκτάσεων κοντά στις πόλεις, μπορεί να δοθεί το έναυσμα για έναν πιο ασφαλή και πράσινο αστικό ιστό.

Τέλος, απαιτείται η ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης των όμβριων υδάτων, η συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων και η ευαισθητοποίηση και επαρκής πληροφόρηση των πολιτών. Αυτό θα εξασφαλίσει την ταχεία ενσωμάτωση των SuDS στις πόλεις, συμβάλλοντας στη δημιουργία ανθεκτικών και βιώσιμων αστικών περιβαλλόντων, ικανών να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και των πλημμυρών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Αϊδινίδου, Μ., 2021. Ανάλυση και ιεράρχηση σημαντικότητας αντιπλημμυρικών έργων σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού με τη μέθοδο AHP σε περιβάλλον GIS.

Αλεξίου, Α., 2013. *Τυποποίηση ιστορικών πλημμυρών με βάση την οδηγία 2007/60/ΕΚ. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. ΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων".* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σελίδες 137

Αλευράς, Γ., 2023. *Συστήματα ήπιας διαχείρισης απορροών όμβριων υδάτων από οδικά δίκτυα.*

Αντωνίου, Β., 2002. Το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του λεκανοπεδίου Αθηνών= natural and human environment of Athens basin. *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 2: 311-318.*

Αρμενιάκου, Χ., 2021. Διερεύνηση παραγόντων πρόκλησης αστικών συμβάντων πλημμύρας μέσω χωρικής στατιστικής ανάλυσης.

Βοζινάκη, Ανθή-Ειρήνη., 2014. *Ένα ολοκληρωμένο σύστημα εκτίμησης της επικινδυνότητας και των επιπτώσεων πλημμυρικών φαινομένων.* Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης. Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Διακάκης, Μ., 2013. *Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης.* Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.

Κατιρτζίδης, Α., 2015. *Διαχείριση κινδύνου στις παράκτιες περιοχές από ακραία φαινόμενα πλημμύρας από τη θάλασσα*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κατσιόλας, Α. Στέργιου., 2023. *Σχεδιασμός έναντι πλημμυρικού κινδύνου ορεινών λεκανών απορροής και αστικών περιοχών. Διερεύνηση των επιπτώσεων της αρχικής εδαφικής υγρασίας και της αβεβαιότητας του συντελεστή τριβής Manning. Εφαρμογή στις λεκάνες απορροής χειμάρρων του Βόλου*. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κοτσιφάκης, Κ., 2014. *Υδρολογική ανάλυση-προσομοίωση στην Πειραματική Λεκάνη Ραφήνας*. Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ.

Κωνσταντινίδου, Β., 2023. *Πόλεις και πλημμύρες: η περίπτωση της περιφερειακής τάφρου Θεσσαλονίκης. Ζητήματα σχεδιασμού και βέλτιστης αξιοποίησης για τη θωράκιση της πόλης*. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Λεβέντης, Α., 2022. *Σχέδιο προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή σε τοπικό επίπεδο, η περίπτωση του δήμου Μάνδρας Αττικής*.

Λεβέντης, Π., 2023. *Συστήματα ήπιας διαχείρισης ομβρίων υδάτων σε αστικές περιοχές*.

Λέκκας, Ε., 2000. *Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές. Εκδόσεις Access, Αθήνα*.

Λίτσιου, Τζένη Αγκίμ., 2021. *Ενίσχυση της ανθεκτικότητας στις αστικές πλημμύρες λόγω των βροχοπτώσεων*. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μανίκα, Μ., 2021. *Στατιστική ανάλυση χωρικών δεδομένων για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών που συνδέονται με πλημμύρες στη Δυτική Αθήνα*.

- Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ. και Κακαλίκα, Π., 2005. Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας και η χρήση της στον φυσικό και αστικό σχεδιασμό. Παράδειγμα εφαρμογής η πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκα». Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXXVIII, σελ. 147–156. Αθήνα.
- Μπαλιακούτα, Θεανώ Κ., 2023. *Πλημμυρικά φαινόμενα στην Ελλάδα*. Πτυχιακή Εργασία.
- Μπεζιργιαννίδης, Α., 2007. *Πλημμύρες και αντιπλημμυρικά έργα κατά μήκος του ποταμού Έβρου*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Μπλούτσος, Α., 2024. *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Υδραυλική*.
- Παπαλιάκου, Α., (2023). *ΣΔΙΤ Συμπράξεις Ιδιωτικού και Δημόσιου Τομέα-Η συμβολή στις υποδομές του κατασκευαστικού κλάδου και ιδιαιτέρως στις κατασκευές φραγμάτων-Μελέτη περίπτωσης: Φράγμα Χαβρία*.
- Πιστρίκα, Αιμιλία Κ., 2010. *Εκτίμηση άμεσης πλημμυρικής ζημιάς σε δομημένο περιβάλλον*.
- Πριάρη, Γ., 2016. *Αειφορικά συστήματα διαχείρισης ομβρίων υδάτων και εφαρμογές τους στη Λεμεσό*.
- Σακκά, Ελένη Παύλου., 2022. *Sponge city*. PhD Thesis. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σαπουντζάκη, Κ., Δανδουλάκη, Μ., 2016. *Κίνδυνοι και Καταστροφές*.
- Σκίντζης, Κ., 2017. *Η έννοια της Ανθεκτικής Πόλης*.

Αγγλική βιβλιογραφία

Bean, E.Z., Hunt, W.F & Bidelspach, D. a., 2007. *Field Survey of Permeable Pavement Surface Infiltration Rates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(3), pp.249-255.

Hirschboeck, Katherine, K., 1988. Flood hydroclimatology. *Flood geomorphology*, 27: 49.

Prokop, G. Jobstmann, H. & Schonbauer, A., 2011. *Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects.*

Scholz, M. & Grabowiecki, P., 2007. *Review of permeable pavement systems. Building and Environment*, 42(11), pp.3830-3836.

Barbaro, G., Miguez, M., de Sousa, M., Ribeiro da Cruz Franco, A., de Magalhães, P., Foti, G., Valadão, M. and Occhiuto, I., 2021. Innovations in Best Practices: Approaches to Managing Urban Areas and Reducing Flood Risk in Reggio Calabria (Italy). *Sustainability*, 13(6), p.3463. doi:<https://doi.org/10.3390/su13063463>.

Feloni, E., 2019. *Assessment of flood induced by heavy rainfall using advanced methodologies, as a premise for an integrated flood early warning system: The case of Attica region.* Doctoral dissertation, National Technical University of Athens (NTUA). School of Civil Engineering. Department of Water Resources and Environment, Laboratory of Hydrology and Water Resources Management.

Διαδικτυακές πηγές

https://mpattiki.etme.gr/pdf/zones/attiki/Π8_ΖΩΝΗ%20ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟ%20ΑΤΤΙΚΗΣ_TE.pdf

(Τελευταία προσπέλαση: 1-9-2024)

<https://besafenet.net/el/hazards/floods/>

(Τελευταία προσπέλαση: 1-9-2024)

<https://www.iefimerida.gr/kosmos/iaponia-fonikes-plimmyres-tyfona-hagibis>

(Τελευταία προσπέλαση: 2-9-2024)

<https://www.news247.gr/kosmos/o-tifonas-xagkimpis-parelise-to-tokio-23-nekroi-apo-ti-sfodroteri-kakokairia-stin-istoria-tis-iaponias/>

(Τελευταία προσπέλαση: 2-9-2024)

<https://www.e-archimedes.gr/2013/06/22/oi-plemmures-tou-iouniou-tou-2013-sten-kentrike-europe/>

(Τελευταία προσπέλαση: 5-9-2024)

https://www.efsyn.gr/periballon/oikologika/57031_oi-plimmyres-apeiloun-tin-eyropi

(Τελευταία προσπέλαση: 5-9-2024)

https://mpattiki.etme.gr/pdf/zones/attiki/Π8_ΖΩΝΗ%20ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟ%20ΑΤΤΙΚΗΣ_TE.pdf

(Τελευταία προσπέλαση: 5-9-2024)

<https://www.prasinistegi.gr/orismos-pleonektimata/>

(Τελευταία προσπέλαση: 5-9-2024)

<https://emy-monoseis.gr/πράσινες-στέγες/>

(Τελευταία προσπέλαση: 5-9-2024)

<https://dasarxeio.com/2021/10/25/103547/>

(Τελευταία προσπέλαση: 9-9-2024)

<https://www.eppconcrete.com/how-to-design-french-drain/>

(Τελευταία προσπέλαση: 9-9-2024)

<https://www.whenappearancematters.com/blog-posts/what-is-a-french-drain>

(Τελευταία προσπέλαση: 9-9-2024)

<https://es.123rf.com/free-images/?r=d>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://gr.dreamstime.com/διαπερατό-πεζοδρόμιο-ως-πορώδης-χρήση-υλικού-για-στρώματα-δρόμου-image276314284>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://www.geoponiko-parko.gr/images/stories/virtuemart/product/000417-05.jpg>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://domika-devetzoglou.gr/product/πλεγμα-γκαζον-διατρητο/>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://www.npr.org/2023/10/03/1202252103/china-floods-sponge-cities-climate-change>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://dirt.asla.org/2021/08/04/kongjian-yu-defends-his-sponge-city-campaign/>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

https://global.chinadaily.com.cn/a/202110/29/WS617b41bca310cdd39bc71fea_1.html

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://earth.org/sponge-cities-could-be-the-answer-to-impending-water-crisis-in-china/>

(Τελευταία προσπέλαση: 14-9-2024)

<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/45647>

(Τελευταία προσπέλαση: 16-9-2024)

http://reni.gr/?page_id=97

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

<https://www.hrgreen.com/blog/low-impact-design/>

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

<https://watersensitivecities.org.au/solutions/case-studies/>

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

<https://www.ajlajournal.org/articles/the-sponge-city-planning-design-and-political-design>

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

<https://www.michanikos.gr/index/articles/έργα-υποδομές/αντιπλημμυρικά-έργα-στον-κηφισό-και-τον-πλατύ-ποταμό-κρήτης-με-σεβασμό-στο-περιβάλλον-r12482/>

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

https://www.agrinionews.gr/to-fragma-kremaston-psila-foto/#goog_rewarded

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

<https://www.undrr.org/quick/50922>

(Τελευταία προσπέλαση: 17-9-2024)

<https://www.idator.gr/antiplimmyrikh-prostasia/tehnhta-fragmata-noaq/>

(Τελευταία προσπέλαση: 1-10-2024)

<https://www.idator.gr/antiplimmyrikh-prostasia/beaver/>

(Τελευταία προσπέλαση: 1-10-2024)