

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων Υδάτων και
εφαρμογή τους στη Λεμεσό

Γεωργία Πριάρη

Επιβλέπων Καθηγητής
Ασπασία Ευθυμιάδου

Μάιος 2016

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων και εφαρμογή τους στη Λεμεσό

Γεωργία Πριάρη

**Επιβλέπων Καθηγητής
Ασπασία Ευθυμιάδου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Γεωργία Πριάρη από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2016

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Οι επιπτώσεις της αστικοποίησης, οι οποίες περιλαμβάνουν τη σφράγιση του εδάφους, επιφέρουν αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο, μειώνοντας τη διήθηση του νερού προς τους υπόγειους υδροφορείς, περιορίζοντας τη φυσική ροή του νερού και αυξάνοντας την ταχύτητα του. Η υφιστάμενη προσέγγιση στη διαχείριση του νερού της βροχής, η οποία χρονολογείται από την αρχή της δημιουργίας των πόλεων, είναι η γρήγορη απομάκρυνσή του από την περιοχή βροχόπτωσης με τη χρήση υπόγειων αγωγών και η απόρριψή του σε φυσικούς αποδέκτες, χωρίς οποιαδήποτε επεξεργασία. Οι συνέπειες αυτής της πρακτικής, είναι η μείωση της απορρόφησης του νερού από το έδαφος, η μείωση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα, η αύξηση της επιφανειακής απορροής και η υποβάθμιση της κατάστασης των φυσικών αποδεκτών.

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, είναι να παρουσιαστεί μια σχετικά νέα προσέγγιση στη διαχείριση των ομβρίων υδάτων, τα Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων (ΑΣΔΟ) και να παρουσιαστούν οι δυνατότητες τους. Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη μελέτη και εφαρμογή των συστημάτων αυτών.

Στο Κεφάλαιο 1 της μεταπτυχιακής διατριβής γίνεται μια σύντομη περιγραφή του θέματος και των βασικών εννοιών. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 2 γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τη διαχείριση των ομβρίων γενικότερα και γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στη φιλοσοφία και τα οφέλη των ΑΣΔΟ. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία της μεταπτυχιακής διατριβής και τα γενικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα βασικά ΑΣΔΟ και στο Κεφάλαιο 5 προτείνονται εφαρμογές των ΑΣΔΟ στην περιοχή της Λεμεσού. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης, τα συμπεράσματα και οι εισηγήσεις που προέκυψαν.

Summary

The effects of urbanisation to the hydrologic circle which are caused due to soil sealing, involve the decrease of the aquifer level, the change of the watercourses and the increase of the velocity and the quantity of runoff. The existing approach of stormwater management, which is dated since the creation of cities, is the fast conveyance of the water to the recipients using underground pipes, where it flows without any treatment. The consequences of this practice are the reduction of soil infiltration, the reduction of aquifer level, the increase of runoff and the deterioration of the recipients' quality.

The aim of this master thesis, is to present Sustainable Drainage Systems (SuDS), a relatively new approach of stormwater management along with their possibilities. The objective of this study is to become a tool for the implementation of these systems. Chapter 1 involves a short description of the subject and the main topics. In Chapter 2, we present a brief historical overview, some general facts of rainwater management and a short introduction of the philosophy and the benefits of SuDS. Chapter 3 consists of the methodology of this master thesis and the local conditions of the region of study. Next, in Chapter 4 the basic SuDS techniques are presented and in Chapter 5 we propose applications of SuDS in the region of Limassol. Finally, in Chapter 6 we present the results of the study and some conclusions and proposals.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου Δρ Σίσσυ Ευθυμιάδου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την παρούσα διατριβή και τη βοήθεια που μου προσέφερε με τις χρήσιμες παρατηρήσεις της.

Επίσης, θεωρώ τον εαυτό μου πολύ τυχερό και θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύζυγο μου Χρίστο, καθώς χάρις στην καθοδήγηση, τη συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, έγινε πραγματικότητα η ολοκλήρωση όχι μόνο της μεταπτυχιακής μου διατριβής, αλλά ολόκληρου του προγράμματος Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το Συμβούλιο Αποχετεύσεων Λεμεσού Αμαθούντας (ΣΑΛΑ) όπου εργάζομαι, καθώς συνέβαλλε τα μέγιστα στο να γνωρίσω και να κατανοήσω τη σημασία της Αειφορικής Διαχείρισης των Ομβρίων Υδάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δικούς μου ανθρώπους για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξαν καθ' όλο το χρονικό διάστημα που διήρκεσαν οι σπουδές μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Summary	2
Ευχαριστίες.....	3
Περιεχόμενα.....	4
Ευρετήριο Εικόνων	7
Κεφάλαιο 1	15
..... Εισαγωγή	15
1.1 Καταγραφή του Προβλήματος.....	16
1.2 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης.....	16
1.3 Σκοπός και Στόχος της Εργασίας	17
1.4 Προσδιορισμός και Διατύπωση των Κεντρικών Εννοιών	17
1.4.1 Αστικοποίηση.....	18
1.4.2 Ο Κύκλος του Νερού και οι Επιπτώσεις της Αστικοποίησης.....	19
1.4.3 Πλημμύρες	22
1.4.4 Διαπερατότητα του Εδάφους.....	23
Κεφάλαιο 2	26
Βιβλιογραφική	26
..... Ανασκόπηση	26
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	26
2.2 Νομοθετικό Πλαίσιο	29
2.3 Διεθνής Πραγματικότητα.....	30
2.4 Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων	31
2.4.1 Αποδόμηση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα (CO ₂).....	38
2.4.2 Μείωση του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	38
2.4.3 Αντιμετώπιση Πλημμυρών	40
2.4.4 Ευημερία και Προσαρμογή στις Κλιματικές Αλλαγές.....	42
2.5 Η Φιλοσοφία της Αειφορικής Διαχείρισης Ομβρίων	43
Κεφάλαιο 3	45
..... Μεθοδολογία	45
3.1 Σκοπός και Στόχος	45
3.2 Ερευνητικό Ερώτημα.....	45
3.3 Σχεδιασμός.....	45

3.4	Γενικά Στοιχεία για την Περιοχή Μελέτης.....	46
3.5	Κλιματικές Συνθήκες.....	49
3.6	Υδάτινοι Πόροι.....	49
3.6.1	Βροχοπτώσεις.....	50
3.6.2	Καμπύλες Βροχόπτωσης.....	52
3.6.3	Υδατικό Ισοζύγιο	54
3.6.4	Υδάτινα Σώματα	54
3.7	Κάλυψη Εδάφους.....	59
3.8	Μορφολογία του Εδάφους	60
3.9	Διαχείριση των Ομβρίων στην Περιοχή Μελέτης.....	67
Κεφάλαιο 4.....		68
Τεχνικές	Αειφορικής Διαχείρισης Ομβρίων Υδάτων	68
4.1	Συλλογή και Επαναχρησιμοποίηση Βρόχινου Νερού (rainwater harvesting)	69
4.2	Πράσινες Οροφές (Green Roofs)	75
4.3	Διαπερατά Δάπεδα	80
4.4	Λωρίδες Φιλτραρίσματος και Φυτεμένα Αυλάκια	93
4.5	Τάφροι και Λάκκοι Διήθησης του Νερού (Infiltration Trenches and Soak aways) 98	
4.6	Δεξαμενές και Λίμνες (Basins, Ponds and Lakes).....	102
4.7	Συστήματα Βιοκατακράτησης (Bioretention Systems)	105
4.7.1	Κήποι Βροχής (Rain Gardens).....	107
4.7.2	Δεντροδόχοι Βιοκατακράτησης.....	112
4.8	Κόστος.....	114
Κεφάλαιο 5.....		117
Αξιολόγηση	Εφαρμογής ΑΣΔΟ Σε Περιοχές της Λεμεσού	117
5.1	Εφαρμογή Μεθόδων Συλλογής και Επαναχρησιμοποίησης Βρόχινου Νερού .	117
5.1.1	Εφαρμογή σε Νεόδμητη Κατοικία	117
5.1.2	Εφαρμογή σε Υφιστάμενη Κατοικία.....	120
5.1.3	Εφαρμογή σε Δημόσια Κτίρια.....	121
5.1.4	Άλλες Εφαρμογές στο Λανίτειο.....	128
5.2	Εφαρμογή Πράσινης Οροφής.....	131
5.3	Εφαρμογή Διαπερατών Δαπέδων.....	132
5.3.1	Εφαρμογή σε Υπαίθριο Χώρο Στάθμευσης	133
5.3.2	Εφαρμογή σε Χώρους Στάθμευσης Οδών	133

5.4	Συστήματα Βιοκατακράτησης σε Οδούς.....	134
5.4.1	Εφαρμογή σε Νησίδες στο Κέντρο των Οδών.....	134
5.4.2	Εφαρμογή σε Πεζοδρόμια και Γωνίες Δρόμων	138
5.4.3	Εφαρμογή σε Χώρους Πρασίνου	141
5.4.4	Εφαρμογή στην Παραλιακή Οδό της Λεμεσού.....	143
5.5	Εφαρμογή Δεξαμενών Κατακράτησης σε Κυκλικούς Κόμβους	144
5.6	Εφαρμογή Λάκκων Διήθησης	147
	Κεφάλαιο 6.....	149
	Αποτελέσματα	Επίλογος
	149
6.1	Αποτελέσματα.....	149
6.1.1	Εφαρμογή Συστημάτων Συλλογής και Επαναχρησιμοποίησης Νερού της Βροχής	149
6.1.2	Εφαρμογή Πράσινων Οροφών.....	150
6.1.3	Εφαρμογή Διαπερατών Δαπέδων.....	150
6.1.4	Εφαρμογή Συστημάτων Βιοκατακράτησης.....	151
6.2	Συζήτηση.....	151
6.3	Συμπεράσματα	152
6.4	Εισηγήσεις.....	154
	Παράρτημα Α.....	156
	Παράρτημα Β.....	158
	Παράρτημα Γ	163
	Παράρτημα Δ.....	166
	Παράρτημα Ε.....	169
	Βιβλιογραφία.....	1

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ο υδρολογικός κύκλος. Πηγή (USGS 2015).....	20
Εικόνα 1.2: Οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στον υδρολογικό κύκλο. Πηγή (Chocat et al. 2007).....	20
Εικόνα 1.3: Ο κύκλος του νερού σε μη ανεπτυγμένη περιοχή. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	21
Εικόνα 1.4: Οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στον υδρολογικό κύκλο. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	22
Εικόνα 2.1: Κανάλι ομβρίων στην αγορά της αρχαίας Μεσσηνίας. Πηγή (Angelakis et al. 2005).....	27
Εικόνα 2.2: Συστήματα μεταφοράς νερού (Τουμαζής et al. 2009).....	28
Εικόνα 2.3: Παράδειγμα από την περιοχή μελέτης. Επειδή συγκεντρώνεται νερό στη συγκεκριμένη οδό, έχουν κατασκευαστεί τεράστιες σχάρες για τη συλλογή των ομβρίων.	32
Εικόνα 2.4: Φωτογραφίες από ΑΣΔΟ.....	37
Εικόνα 2.5: Πράσινη οροφή σε κεκλιμένη στέγη. Πηγή (New York State 2007).	40
Εικόνα 2.6: Η φιλοσοφία των συμβατικών μορφών διαχείρισης ομβρίων (αριστερά) και των ΑΣΔΟ (SuDS) (δεξιά). Πηγή (Sudsdrain 2012b).	43
Εικόνα 3.1: Περιοχή Μελέτης: Λεμεσός, Κύπρος (αριστερά). Με κόκκινο φόντο εμφανίζεται η επαρχία Λεμεσού (επάνω), ενώ κάτω παρουσιάζονται οι κύριοι δήμοι της πόλης της Λεμεσού.....	48
Εικόνα 3.2: Κατανομή της βροχόπτωσης στην Κύπρο. Πηγή (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).	50
Εικόνα 3.3: Υδρολογικές περιοχές της Κύπρου. Πηγή (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).....	51
Εικόνα 3.4: Υπόγεια υδατικά σώματα της Κύπρου. Πηγή (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).	56
Εικόνα 3.5: Υπόγεια υδατικά σώματα στην περιοχή μελέτης. Απόσπασμα από (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a). ..	57
Εικόνα 3.6: : Ποιοτική Κατάσταση των ΣΥΥ της περιοχής μελέτης κατά την εξαετία 2008 – 2013. Απόσπασμα από (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).	58

Εικόνα 3.7: Ποσοτική Κατάσταση των ΣΥΥ της περιοχής μελέτης κατά την εξαετία 2008 – 2013. Πηγή (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).	59
Εικόνα 3.8: Κάλυψη του εδάφους στην περιοχή μελέτης, όπως προκύπτει από το CORINE.....	60
Εικόνα 3.9: Το ΨΥΜΕ της περιοχής μελέτης. Όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο, τόσο πιο λευκή φαίνεται η απεικόνιση.....	61
Εικόνα 3.10: Χάρτης κλίσεων εδάφους. Οι πιο σκούρες περιοχές έχουν μεγαλύτερη κλίση.	62
Εικόνα 3.11: Χάρτης διεύθυνσης της κλίσης.....	63
Εικόνα 3.12: Υδρογραφικό δίκτυο.....	64
Εικόνα 3.13: Λεκάνες απορροής και υδρογραφικό δίκτυο (λεπτές μπλε γραμμές). Οι παχιές μπλε γραμμές εικονίζουν τα ποτάμια	65
Εικόνα 3.14: Οι περιοχές με βυθίσματα του εδάφους φαίνονται με τόνους του γκρι. Όπου το χρώμα είναι πιο ανοιχτό το βάθος είναι μικρότερο.....	66
Εικόνα 3.15: Λεωφόρος Αγίας Φυλάξεως από τη Λεωφόρο Σπύρου Κυπριανού έως τον Κυκλικό Κόμβο Αγίας Φύλας. Παρατηρούμε ότι επισημαίνονται αρκετές περιοχές, συμπεριλαμβανομένου του Τσιρείου σταδίου και του χώρου βόρεια, όπου προγραμματίζεται η κατασκευή λίμνης κατακράτησης.	66
Εικόνα 3.16: Περιοχή Δυτικά του Τσιρείου στάδιου	67
Εικόνα 3.17: Στην περιοχή αυτή δημιουργούνται συχνές πλημμύρες. Επίσης επισημαίνεται στα αριστερά τμήμα της κοίτης του Γαρύλλη.....	67
Εικόνα 4.1: Η φιλοσοφία των ΑΣΔΟ και ο υδρολογικός τους κύκλος. Πηγή (Yu 2013)..	69
Εικόνα 4.2: Υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης ομβρίων υδάτων στο χωριό Απαισιά της Κύπρου. Πηγή (Τουμαζής et al. 2009).	70
Εικόνα 4.3: Σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης ομβρίων με βαρύτητα (Kellagher et al. 2015; Gambolati et al. 2002).	72
Εικόνα 4.4: Σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης ομβρίων με άντληση (Kellagher et al. 2015).....	73
Εικόνα 4.5: Βαρέλια βροχής τα οποία απορρέουν σε κήπους. Αριστερά πηγή (Κατσιφαράκης et al. 2013). Δεξιά πηγή (Jojo Tanks 2016).	74
Εικόνα 4.6: Διάφορα συστήματα διήθησης (αριστερά) και αποθήκευσης (δεξιά) ομβρίων.	75

Εικόνα 4.7: Εντατική στέγη στην οροφή μιας υπεραγοράς στο Milton Keynes στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πηγή (Yu 2013).....	79
Εικόνα 4.8: Εκτατικός τύπος πράσινης στέγης πάνω από χώρο στάθμευσης στη Γερμανία (Πηγή: (Loder 2016).....	79
Εικόνα 4.9: Στέγη πριν την κατασκευή (αριστερά) και μετά την μετατροπή της σε ημιεντατική πράσινη οροφή (δεξιά). Πηγή (Landscape Architecture Foundation 2007).	80
Εικόνα 4.10: Διαπερατότητα διαφόρων εδαφών. πηγή (The Watershed Company 2016).	81
Εικόνα 4.11: Διαφορές μεταξύ αδιαπέρατων εδαφών (αριστερά) και διαπερατών (δεξιά). Πηγή (Prokop et al. 2011).	81
Εικόνα 4.12: Τυπική τομή ενός διαπερατού δαπέδου. Πηγή (NetRegs 2016).....	82
Εικόνα 4.13: Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διαπερατές επιφάνειες, ταξινομημένες από τις περισσότερο στις λιγότερο διαπερατές. 1) χλοοτάπητας, 2) χαλικοτάπητας, 3) πλαστικά και 4) τσιμεντένια πλέγματα με γρασίδι, 5) σκυρόστρωμα, 6) διαπερατές τσιμεντένιες επιστρώσεις, 7) πορώδης άσφαλτος και 8) η μη διαπερατή άσφαλτος. Πηγή (Prokop et al. 2011).	83
Εικόνα 4.14: Κατασκευή χαλικοτάπητα. Πηγή (Green 4 Cities 2014).....	84
Εικόνα 4.15: Πλαστικά πλέγματα με γρασίδι. Μπορούν να γεμίσουν με γρασίδι ή χαλίκι. Πηγή (TYPAR 2016).....	85
Εικόνα 4.16: Κατασκευή ενός διαδρόμου με διαπερατά πλέγματα από σκυρόδεμα. Πηγή (Prokop et al. 2011).	86
Εικόνα 4.17: Παραδείγματα διαπερατών οδών από σκυρόστρωμα (Prokop et al. 2011).	87
Εικόνα 4.18: Διαπερατό δάπεδο από πλάκες σκυροδέματος (αριστερά και μέση) και διαπερατό σκυρόδεμα (δεξιά). Πηγή (Bean et al. 2007).	88
Εικόνα 4.19: Παραδείγματα από πλάκες σκυροδέματος με κενά μεταξύ τους (Prokop et al. 2011).....	88
Εικόνα 4.20: Κατασκευή δαπέδου από διαπερατό σκυρόδεμα (Kevern et al. 2006).	89
Εικόνα 4.21: Η διαμόρφωση της πλατείας στο Πανεπιστήμιο Villanova. Αριστερά είναι πριν την κατασκευή και δεξιά μετά. Πηγή (Kwiatkowski et al. 2007).	90

Εικόνα 4.22: Τύποι ασφάλτου. (1) συμβατική μη διαπερατή ασφαλτος. (2) πορώδης ασφαλτος με κόκκους μεγάλης διαμέτρου. (3) πορώδης ασφαλτος με κόκκους μικρής διαμέτρου. Πηγή (Prokor et al. 2011).	90
Εικόνα 4.23: Μία λωρίδα φιλτραρίσματος δίπλα από δρόμο. Παρατηρούμε ότι στο κάτω μέρος καταλήγει σε αυλάκι. Πηγή (Chesapeake Stormwater Network 2016).	93
Εικόνα 4.24: Τυπική τομή μιας λωρίδας φιλτραρίσματος. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	93
Εικόνα 4.25: Αυλάκι διήθησης δίπλα από δρόμο στο Milton Keynes στο Ηνωμένο Βασίλειο. Παρατηρούμε ότι έχει κατασκευαστεί και λωρίδα φιλτραρίσματος. Πηγή (Yu 2013).....	95
Εικόνα 4.26: Κάτοψη φυτεμένου αυλακιού διήθησης με λωρίδα φιλτραρίσματος. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	95
Εικόνα 4.27: Λειτουργίες ενός αυλακιού. Πηγή (The Watershed Company 2016).	96
Εικόνα 4.28: Βασικό φυτεμένο αυλάκι. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	96
Εικόνα 4.29: Ξηρό φυτεμένο αυλάκι. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	97
Εικόνα 4.30: Υγρό αυλάκι. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	97
Εικόνα 4.31: Παραδείγματα εφαρμογής υγρού αυλακιού (αριστερά) και αυλακιού βιοκατακράτησης (δεξιά). Πηγή (Crawford & Groundwork Greater Nottingham 2013).98	
Εικόνα 4.32: Λεπτομέρεια ορθογώνιου λάκκου διήθησης και σύστημα προεπεξεργασίας. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	99
Εικόνα 4.33: Τυπική λεπτομέρεια κυκλικού λάκκου διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	99
Εικόνα 4.34: Τυπική τομή μιας τάφρου διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	100
Εικόνα 4.35: Παραδείγματα από τάφρους διήθησης.	101
Εικόνα 4.36: Τάφρος διήθησης σε κύριο δρόμο στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πηγή (Yu 2013).	101
Εικόνα 4.37: Πλαστικές διάτρητες δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων υδάτων. Πηγή (Sudsdrain 2012b).	102
Εικόνα 4.38: Κάτοψη μιας τυπικής δεξαμενής διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	103
Εικόνα 4.39: Τυπική τομή μιας δεξαμενής διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	104
Εικόνα 4.40: Μια λίμνη κατακράτησης στη Χιλή. Πηγή (Miguez et al. 2012)	104

Εικόνα 4.41: Τυπική τομή ενός συστήματος Βιοκατακράτησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	106
Εικόνα 4.42: Τομή ενός απλού κήπου βροχής. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	107
Εικόνα 4.43: Παραδείγματα κήπων βροχής κατά την κατασκευή (αριστερά) και στην τελική τους μορφή (δεξιά). Πηγή (Kellagher et al. 2015).	108
Εικόνα 4.44: Αυλάκι βιοκατακράτησης σε νησίδα μεταξύ δρόμων (αριστερά), το οποίο συνδέεται με αυλάκι φυτεμένο με γρασίδι (δεξιά). Πηγή (Kazemi et al. 2011).	109
Εικόνα 4.45: Αυλάκι βιοκατακράτησης σε νησίδα μεταξύ δρόμων (αριστερά), το οποίο συνδέεται με κήπους βροχής (δεξιά). Πηγή (Kazemi et al. 2011).	109
Εικόνα 4.46: Κήπος βροχής σε πεζόδρομο στο Nottingham. Πηγή (Crawford & Groundwork Greater Nottingham 2013).....	110
Εικόνα 4.47: Τρεις διαφορετικοί κήποι βροχής στον ίδιο δρόμο. Πηγή (Church 2015).	110
Εικόνα 4.48: Τυπική τομή κήπου βροχής σε δρόμο. Πηγή (Bray et al. 2012).	111
Εικόνα 4.49: Τομή ενός ανυψωμένου κήπου βροχής. Πηγή (Bray et al. 2012).	112
Εικόνα 4.50. Σκαριφήματα δεντροδόχου βιοκατακράτησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	113
Εικόνα 4.51: Σύγκριση τύπων δεξαμενών συλλογής ομβρίων. Πηγή (Kowalsky & Thomason 2011).	116
Εικόνα 5.1: Βαρέλι βροχής συνδεδεμένο με υδροροή. Πηγή (Authority & Credit Valley Conservation Authority 2010).....	121
Εικόνα 5.2: Το συγκρότημα Λανίτειων σχολείων . Εικόνα από Google Earth.	122
Εικόνα 5.3: Διάφορες αδιαπέρατες από το νερό κατασκευές στους χώρους των σχολείων.....	123
Εικόνα 5.4: Υδροροές που καταλήγουν σε αδιαπέρατες επιφάνειες.	123
Εικόνα 5.5: Χώρος στάθμευσης διαστρωμένος με άσφαλτο. Η απορροή του νερού καταλήγει στο χωμάτινο αχρησιμοποίητο χώρο που φαίνεται στο βάθος.....	124
Εικόνα 5.6: Αχρησιμοποίητος χώρος. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τη διάβρωση λόγω της πορείας του νερού της βροχής. Ο χώρος αυτός είναι ένας από τους προτεινόμενους για την κατασκευή της δεξαμενής αποθήκευσης για τη συλλογή του νερού. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να κατασκευαστεί μια ρηχή ξηρή λίμνη κατακράτησης, η οποία θα γεμίζει κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης και θα διηθεί το νερό στο έδαφος.	124

Εικόνα 5.7: Γήπεδο ποδοσφαίρου από χώμα. Στο βάθος φαίνονται τα κτίρια του σχολείου. Προτεινόμενος χώρος κατασκευής συστήματος συλλογής και επαναχρησιμοποίησης βρόχινου νερού. Τα πλεονεκτήματα του χώρου αυτού είναι ότι λόγω του ότι η επιφάνεια είναι χωμάτινη και λόγω του ότι τα φορτία που παραλαμβάνει ο χώρος είναι μικρά, η κατασκευή του συστήματος θα είναι πιο οικονομική. Μπορεί επίσης να συνδυαστεί με διήθηση του νερού από την επιφάνεια.	125
Εικόνα 5.8: Διάταξη συστήματος συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	127
Εικόνα 5.9: Κατασκευή συστήματος Graf EcoBloc Light Modular Water Storage System. Πηγή (RainHarvest Systems 2016).....	128
Εικόνα 5.10: Διαμόρφωση κήπου βροχής. Με πολύ μικρό κόστος μπορεί να διαμορφωθεί ο κήπος των φωτογραφιών σε κήπο βροχής, στον οποίο θα καταλήγουν οι υδρορροές από το παρακείμενο κτίριο.	128
Εικόνα 5.11: Υδρορροές που καταλήγουν σε αδιαπέρατο δάπεδο, ενώ ακριβώς μπροστά σε αυτές υπάρχει λωρίδα πρασίνου που θα μπορούσε να παραλάβει το νερό αυτό.	129
Εικόνα 5.12: Διαμόρφωση της λωρίδας πρασίνου και των υδρορροών.	129
Εικόνα 5.13: Υδροροή που καταλήγει σε πεζούλι δίπλα από χώρο πρασίνου. Προτείνεται η διαμόρφωση του χώρου αυτού σε κήπο βροχής και η διαμόρφωση όλων των παρακείμενων υδροροών ώστε να καταλήγουν σε αυτόν. Όπως φαίνεται από τη δεξιά φωτογραφία, μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί και υπερχείλιση προς το φρεάτιο συλλογής ομβρίων.....	129
Εικόνα 5.14: Παράδειγμα από εγκατάσταση σε δημοτικό σχολείο στο Stebonheath, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πηγή (Sudsdrain 2012a)	130
Εικόνα 5.15: Δημιουργία νησίδων βιοκατακράτησης στα δέντρα ώστε να διοχετεύεται η απορροή από την ασφαλτο και να οριοθετούνται και οι χώροι στάθμευσης.....	130
Εικόνα 5.16: Χαμήλωμα των ρείθρων των δέντρων ώστε να μπορεί να εισέρχεται νερό. το δάπεδο θα μπορούσε να είναι διαπερατό.	131
Εικόνα 5.17: υπαίθριος χώρος στάθμευσης στην οδό Ναυπλίου. Φωτογραφία από Google Earth.....	133
Εικόνα 5.18: Χώροι στάθμευσης στο πλάι οδών στη Λεμεσό.	134
Εικόνα 5.19: Σύστημα βιοκατακράτησης σε νησίδα μεταξύ δρόμων, τροποποιημένο ώστε να προστατεύεται η βάση του δρόμου από το νερό. Πηγή (Kellagher et al. 2015).	135

Εικόνα 5.20: Σε μεγάλο αριθμό νησίδων, φυτεύεται γρασίδι. Παρατηρούμε ότι το επίπεδό τους είναι ψηλότερο από το οδόστρωμα. Προτείνεται η μείωση του υψομέτρου και η διαμόρφωση των ρείθρων ώστε να εισέρχεται το νερό μέσα στις νησίδες.....	136
Εικόνα 5.21: Σε περιπτώσεις όπου οι νησίδες είναι μικρού πλάτους, διαστρώνονται με τσιμέντο ή πλάκες. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα μπορούσαν να κατασκευάζονται σαν φίλτρα διήθησης, εάν η εκσκαφή γεμίσει π.χ. με χαλίκι μιας διατομής και αφεθούν κενά στο ρείθρο, ώστε να εισέρχεται το νερό.....	136
Εικόνα 5.22: Παράδειγμα νησίδας με σύστημα βιοκατακράτησης. Στο κάτω μέρος φαίνεται το φρεάτιο υπερχειλίσης. Πηγή (Chesapeake Stormwater Network 2016). ..	137
Εικόνα 5.23: Η νησίδα Νότια του κυκλικού κόμβου Αγίας Φύλας, αποτελείται από τρεις χώρους πρασίνου. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η νοτιότερη.	137
Εικόνα 5.24: Παραδείγματα εισόδου νερού σε συστήματα βιοκατακράτησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).....	138
Εικόνα 5.25: Η γωνία του πεζοδρομίου έχει διαστρωθεί με άσφαλτο. Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να δημιουργηθεί κήπος βροχής.	139
Εικόνα 5.26: Τρισδιάστατο γράφημα παρτεριού βροχής. Το νερό εισέρχεται στο παρτέρι από το δρόμο ή το πεζοδρόμιο, λιμνάζει στην επιφάνεια του και διηθείται αργά στο εσωτερικό του. Πηγή (City of Philadelphia 2014).	140
Εικόνα 5.27: Εφαρμογές παρτεριών ομβρίων.	140
Εικόνα 5.28: Δενδροδόχοι ομβρίων. Πηγή (City of Philadelphia 2014).	141
Εικόνα 5.29: Χώροι πρασίνου στην περιοχή μελέτης.....	142
Εικόνα 5.30: Κήπος βροχής σε πάρκο. Πηγή (Arlington County Government 2016).	143
Εικόνα 5.31: Φωτογραφίες από την παραλιακή οδό της Λεμεσού.....	143
Εικόνα 5.32: Νησίδες στην περιοχή μελέτης.....	144
Εικόνα 5.33: Κυκλικός κόμβος που χρησιμεύει σαν χώρος αναψυχής και σαν δεξαμενή κατακράτησης ομβρίων. Πηγή (Strickler 2010).....	145
Εικόνα 5.34: Λίμνη κατακράτησης σε κυκλικό κόμβο. Πηγή (Sudsdrain 2012a)	145
Εικόνα 5.35: Ο κυκλικός κόμβος Αγίας Φύλας.	146
Εικόνα 5.36: Σκαρίφημα της προτεινόμενης δεξαμενής στον κυκλικό κόμβο Αγίας Φύλας.	146
Εικόνα 5.37: Περιοχή στην οποία εμφανίζονται πλημμύρες. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται ότι έχουν δημιουργηθεί ανοίγματα ώστε να φεύγει το νερό από την επιφάνεια του	

δρόμου προς παρακείμενο οικόπεδο, το οποίο με λίγες κατασκευαστικές εργασίες θα μπορούσε να λειτουργεί ως λίμνη.....	147
Εικόνα 5.38: Λάκκοι διήθησης σε δρόμους. Πηγή (City of Philadelphia 2014).	148

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Intergovernmental Panel on Climate change (IPCC 2014), λόγω της επερχόμενης κλιματικής αλλαγής, στα επόμενα χρόνια αναμένεται μείωση των βροχοπτώσεων με ταυτόχρονη αύξηση των εντάσεων τους. Ήδη σε αρκετές πόλεις και ειδικά σε μεγάλα αστικά κέντρα, τα δίκτυα αποχέτευσης των ομβρίων υδάτων δυσκολεύονται να ανταποκριθούν πλήρως στη συνεχώς αυξανόμενη ποσότητα νερού. Το κόστος για την κατασκευή νέων αγωγών είναι αρκετά υψηλό ενώ συχνά είναι τεχνικά αδύνατη η κατασκευή τους. Έτσι, αρχίζει και γίνεται ολοένα και πιο φανερό ότι οι υφιστάμενες πρακτικές όσο αφορά στη διαχείριση των ομβρίων υδάτων είναι ανεπαρκείς (Wong & Brown 2009), καθώς δεν μπορούν να προσαρμοστούν στην επερχόμενη κλιματική αλλαγή.

Κατά την τελευταία εκατονταετία, έχει παρατηρηθεί αύξηση της θερμοκρασίας της γης κατά $0,75^{\circ}\text{C}$, ενώ η ταχύτητα της αύξησης αναμένεται να αυξηθεί με γρήγορους ρυθμούς εάν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δεν μειωθούν σύντομα (Arnbjerg-Nielsen 2012). Αυτό θα οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στον κύκλο του νερού (Li 2012).

Η σχετικά νέα πρακτική των Αειφορικών Συστημάτων Διαχείρισης Ομβρίων (ΑΣΔΟ), στοχεύει στο να γίνεται η κατακράτηση του νερού όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πηγή και το νερό να μη μεταφέρεται γρήγορα σε κατάντη περιοχές. Επίσης, εκτός από τη διαχείριση της ποσότητας της απορροής, τα συστήματα αυτά δίνουν έμφαση στη βελτίωση της ποιότητας του, στην προστασία και την ενίσχυση της βιοποικιλότητας και στη βελτίωση του τοπίου.

1.1 Καταγραφή του Προβλήματος

Η αστικοποίηση και η οικονομική ανάπτυξη, επιφέρουν αλλαγές στην κάλυψη του εδάφους οι οποίες περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, την κατάργηση των φυτεμένων χώρων, τη σφράγιση του εδάφους με αδιαπέρατα από το νερό πεζοδρόμια και δρόμους, το μπάζωμα των φυσικών λιμνών και των ρεμάτων. Οι αλλαγές αυτές προκαλούν την αύξηση της ρύπανσης και υποβιβάζουν την ποιότητα των αστικών υδάτινων συστημάτων (Arora & Reddy 2013; Jayasuriya et al. 2007; Burton et al. 2001).

Η πρακτική που εφαρμόζεται από την αρχή της δημιουργίας των πόλεων και συνεχίζει μέχρι σήμερα όσο αφορά στη διαχείριση των νερών της βροχής, είναι η συγκέντρωση των νερών από τις αδιαπέρατες περιοχές (δρόμους, πεζοδρόμια) σε υπόγειους αγωγούς ή ανοιχτά κανάλια, η γρήγορη απομάκρυνση τους από την περιοχή βροχόπτωσης και η διοχέτευση τους σε φυσικούς αποδέκτες (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα κ.λπ.) χωρίς καμία επεξεργασία (Burns et al. 2012).

Τα συστήματα αυτά συνήθως σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν έως μία καθορισμένη ένταση και διάρκεια βροχόπτωσης, τη βροχόπτωση σχεδιασμού. Σε αρκετές περιπτώσεις, η ένταση και η διάρκεια μιας βροχόπτωσης ξεπερνά το όριο σχεδιασμού και τότε τα νερά απορρέουν επιφανειακά ή λιμνάζουν στους δρόμους, καλύπτουν τα πεζοδρόμια και πλημμυρίζουν κτίρια, οικίες ή άλλα υποστατικά. Σε πολλές περιπτώσεις τα δίκτυα αυτά παραλαμβάνουν ταυτόχρονα λύματα και όμβρια (παντορορικά δίκτυα), κάτι που εντείνει το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος καθώς η απορροή των νερών περιέχει και διαλυμένα λύματα.

1.2 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες και προσεγγίσεις, τόσο στη διαχείριση των ομβρίων, όσο και στο γενικό σχεδιασμό μιας αειφορικής πόλης, στην οποία πρέπει να διασφαλίζεται η σωστή διαχείριση της ενέργειας, η αειφορική χρήση των φυσικών πόρων και παροχή ενός άνετου περιβάλλοντος στους κατοίκους της (Karteris et al. 2016). Ένα σημαντικό κομμάτι της αειφορικής πόλης είναι η διαχείριση του νερού, είτε πρόκειται για την υδροδότηση του πόσιμου νερού ή του νερού άρδευσης, είτε τη διαχείριση και επεξεργασία των λυμάτων και των ομβρίων.

Από τις κυριότερες τεχνικές που εφαρμόζονται για την Αειφορική Διαχείριση των Ομβρίων Υδάτων, είναι τα Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων (ΑΣΔΟ). Αυτά περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τις πράσινες οροφές, τους κήπους βροχής, τα συστήματα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού της βροχής και τις λίμνες κατακράτησης ή διήθησης. Οι τεχνικές αυτές λαμβάνουν υπόψη όλες τις πτυχές του αστικού περιβάλλοντος, την εξοικονόμηση και την επαναχρησιμοποίηση του νερού και λειτουργούν σε διάφορες κλίμακες, είτε σε τοπικό επίπεδο είτε σε περιφερειακό (Bach et al. 2014). Επίσης, προωθούν τη διήθηση του νερού στο σημείο όπου αυτό πέφτει (στην πηγή) και λόγω του ότι συνήθως τα συστήματα αυτά περιέχουν βλάστηση, το φιλτράρουν και το καθαρίζουν. Συνοπτική παρουσίαση των τεχνικών αυτών είναι διαθέσιμη στο Παράρτημα Β, ενώ παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο Κεφάλαιο 4.

1.3 Σκοπός και Στόχος της Εργασίας

Ο σκοπός αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής, είναι η παρουσίαση όλων των βασικών τεχνικών αειφορικής διαχείρισης των νερών της βροχής και των Αειφορικών Συστημάτων Διαχείρισης Ομβρίων. Στην Κύπρο, η Λεμεσός αποτελεί υπόδειγμα όσο αφορά στη διαχείριση των ομβρίων, με την προώθηση από τις τοπικές αρχές τεχνικών αειφορικής διαχείρισης όπως είναι η μελέτη και κατασκευή λιμνών κατακράτησης και η υιοθέτηση της κατασκευής απορροφητικών λάκκων σε κάθε νέα οικοδομή (Τουμαζής et al. 2009). Η διατριβή αυτή στοχεύει στο να αξιολογήσει τη δυνατότητα και την αποδοτικότητα της εφαρμογής των τεχνικών αυτών στην πόλη της Λεμεσού και να λειτουργήσει ως πρόδρομος οδηγός για τους ενδιαφερόμενους. Για το λόγο αυτό, θα εντοπιστούν περιοχές και θα παρουσιαστούν διάφορες τεχνικές οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε αυτές.

1.4 Προσδιορισμός και Διατύπωση των Κεντρικών

Έννοιών

Σε αυτήν την παράγραφο θα παρουσιαστούν κάποιες βασικές έννοιες που αφορούν στο θέμα που πραγματεύεται η μεταπτυχιακή διατριβή. Στο Παράρτημα Α επισυνάπτονται οι ορολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στη διατριβή.

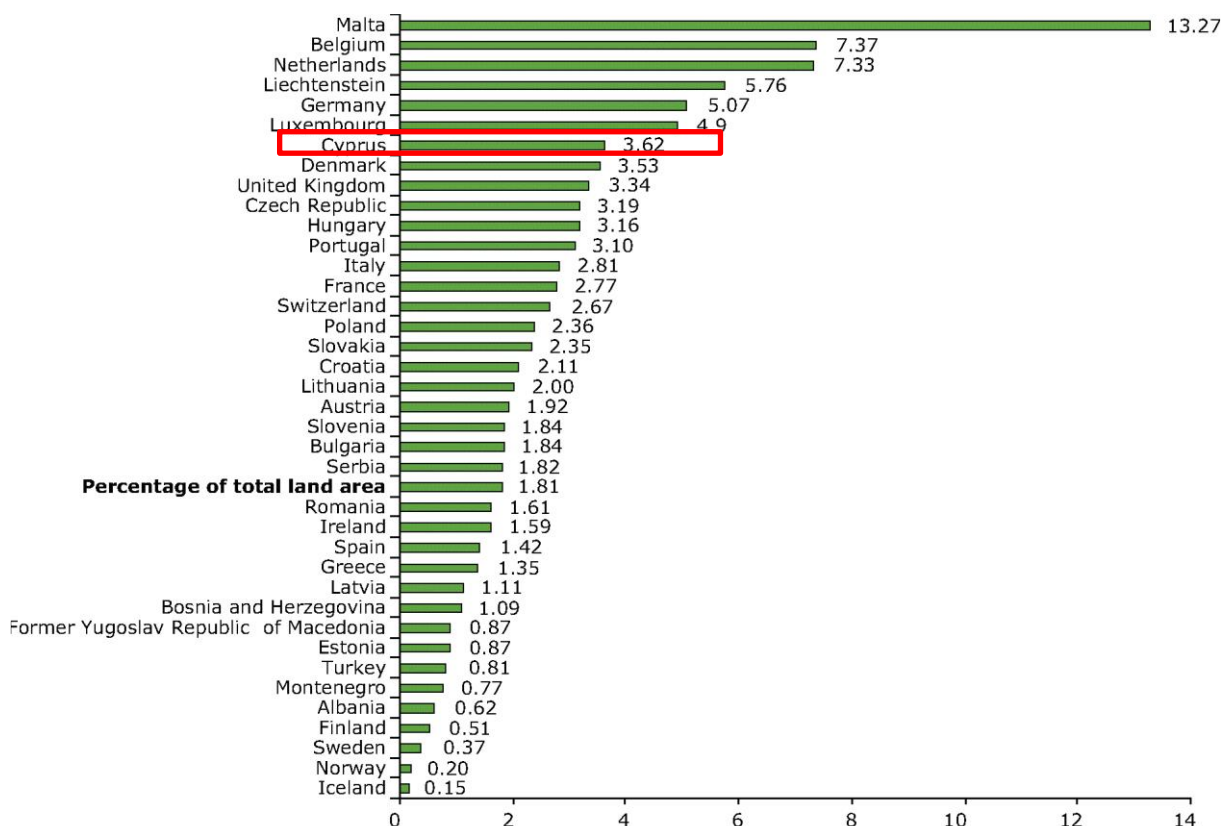
1.4.1 Αστικοποίηση

Πριν από έναν αιώνα μόνο δύο στους δέκα ανθρώπους ζούσαν στις πόλεις. Σήμερα περίπου το 75% του ευρωπαϊκού πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές, ενώ εκτιμάται ότι μέχρι το 2020 το ποσοστό αυτό θα φτάσει στο 80% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012) στην Ευρώπη, η οποία αποτελεί μια από τις πιο αστικοποιημένες ηπείρους του κόσμου.

Με βάση τα στοιχεία που δημοσίευσε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος στο πλαίσιο του προγράμματος CORINE (Copernicus Land Monitoring Services 2016) για την εδαφοκάλυψη, για τα έτη 1990, 2000 και 2006, εκτιμάται ότι η κατάληψη γης μεταξύ 1990 και 2000 ήταν περίπου 1.000 km²/έτος, έκταση μεγαλύτερη από την πόλη του Βερολίνου. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι οι οικιστικές περιοχές αυξήθηκαν κατά σχεδόν 6% (Prokop et al. 2011). Από το 2000 έως το 2006, το ποσοστό κατάληψης γης σημείωσε ελαφρά μείωση, σε 920 km² ετησίως, ενώ το σύνολο των οικιστικών περιοχών αυξήθηκε περαιτέρω κατά 3%. Αυτό αντιστοιχεί σε αύξηση σχεδόν 9% μεταξύ των ετών 1990 και 2006 (από 176.200 σε 191.200 χλμ²). Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι κατά την ίδια περίοδο, ο πληθυσμός αυξήθηκε μόνο κατά 5% (αποσυνδεδεμένη κατάληψη γης), αν και υπάρχει μεγάλη διαφορά στην αύξηση του πληθυσμού ανά την Ευρώπη και εντός των περιφερειών. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, στην Κύπρο, από το 1990 έως το 2006 ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 33%, το υψηλότερο ποσοστό στην Ευρώπη. Λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού και της κυριαρχίας της τουριστικής βιομηχανίας η οποία έφερε αύξηση των τουριστικών υποδομών, υπάρχουν μεγάλες πιέσεις όσο αφορά στις χρήσεις γης. Η μόλυνση των υδάτων, η διάβρωση και η διατήρηση της άγριας πανίδας αποτελούν προβλήματα που χρήζουν μεγάλης προσοχής (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012).

Η σφράγιση του εδάφους είναι η μόνιμη κάλυψη τμήματος της γης και του εδάφους με αδιαπέραστο τεχνητό υλικό, όπως είναι η ασφαλτος και το τσιμέντο. Η σφράγιση έχει προσδιοριστεί ως μία από τις βασικές διεργασίες υποβάθμισης του εδάφους από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012).

Όπως παρατηρείται από το Γράφημα 1.1 η Κύπρος έχει ένα από τα μεγαλύτερα ποσοστά σφράγισης του εδάφους στην Ευρωπαϊκή Ένωση, κάτι που κάνει ακόμα πιο αναγκαία τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό της.



Γράφημα 1.1 Το ποσοστό σφράγισης του εδάφους των Ευρωπαϊκών χωρών. Παρατηρούμε ότι η Κύπρος βρίσκεται 7^η στην κατάταξη. Πηγή (Science for Environmental Policy 2012).

1.4.2 Ο Κύκλος του Νερού και οι Επιπτώσεις της Αστικοποίησης

Η αστικοποίηση συνοδεύεται από αύξηση των αδιαπέρατων επιφανειών όπως είναι οι οροφές και οι δρόμοι, από την κατασκευή αγωγών ομβρίων, από τη συμπύκνωση των εδαφών και από τη μείωση της βλάστησης (Elliott & Trowsdale 2007). Επίσης, προκαλεί σημαντική αλλαγή στην πορεία των απορροών των νερών της βροχής και επηρεάζει τους όγκους και τις ταχύτητες της ροής τους (Huong & Pathirana 2011). Ως αποτέλεσμα, επηρεάζεται η ποιότητα των νερών, ενώ δημιουργούνται περιοχές ευπαθείς σε πλημμύρες μέσω της αλλαγής στην πυκνότητα και τη διανομή των χρήσεων γης.

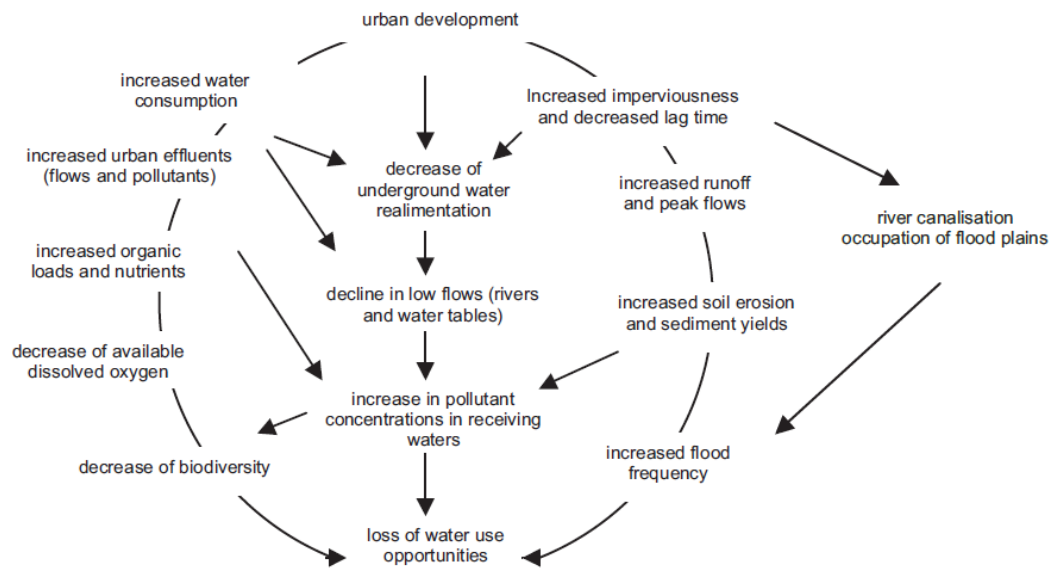
Όπως φαίνεται από την Εικόνα 1.1, κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης, ένα μέρος του νερού που πέφτει στο έδαφος εξατμίζεται πάλι στην ατμόσφαιρα, ένα μέρος απορροφάται από τα φυτά και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής και ένα

άλλο μέρος απορροφάται από το έδαφος, συγκεντρώνεται σε κοιλάτη του εδάφους ή φεύγει από την περιοχή ως επιφανειακή απορροή και κατευθύνεται προς κάποιο αποδέκτη, είτε αυτός είναι κάποιος ποταμός, λίμνη ή θάλασσα.



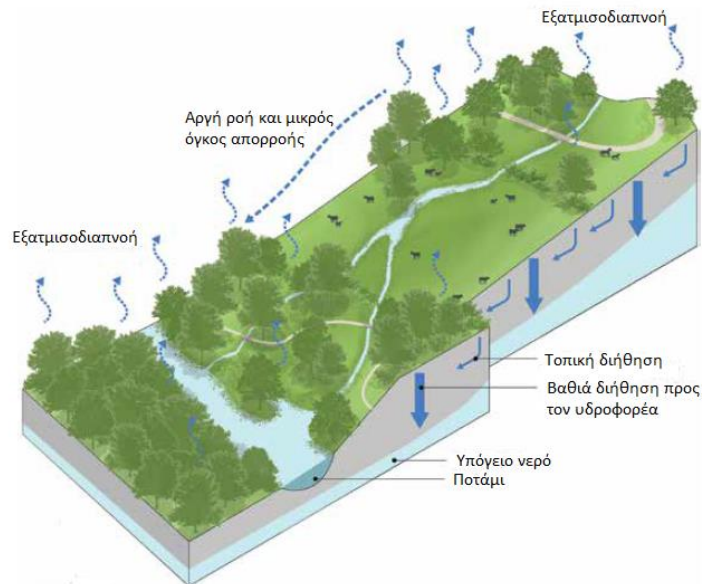
Εικόνα 1.1: Ο υδρολογικός κύκλος. Πηγή (USGS 2015).

Κατά τη δημιουργία των πόλεων, ο υδρολογικός κύκλος επηρεάζεται σε πολλές πτυχές, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.2.



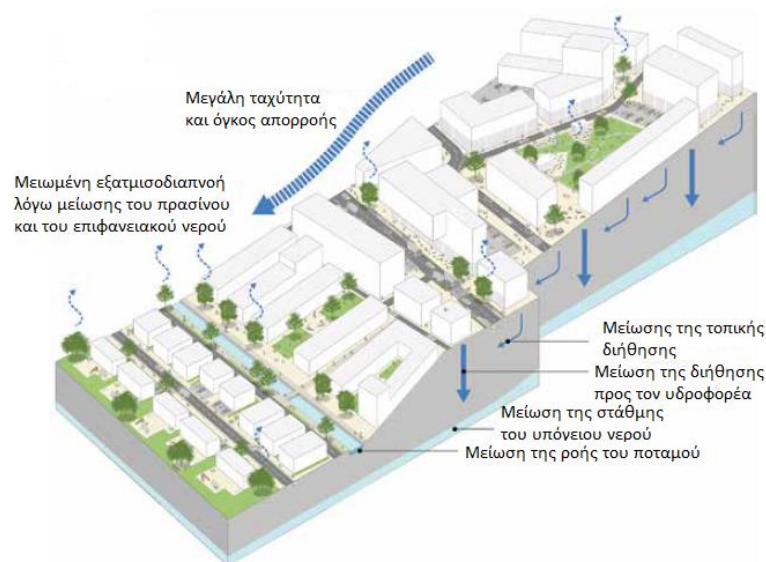
Εικόνα 1.2: Οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στον υδρολογικό κύκλο. Πηγή (Chocat et al. 2007).

Όπως παρατηρούμε και από την Εικόνα 1.3, σε περιοχές μη ανεπτυγμένες, η εξατμισοδιαπνοή λαμβάνει χώρα σε όλο το εύρος της περιοχής, ενώ είναι επίσης μεγάλο το ποσοστό διήθησης του νερού στο έδαφος. Επίσης, η απορροή νερού προς τις κατάντη περιοχές έχει μικρό όγκο και χαμηλή ταχύτητα.



Εικόνα 1.3: Ο κύκλος του νερού σε μη ανεπτυγμένη περιοχή. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Μετά την αστικοποίηση, παρατηρούμε στην Εικόνα 1.4 ότι η εξατμισοδιαπνοή έχει μειωθεί κατά πολύ, όπως επίσης και η διήθηση του νερού στο έδαφος. Ως αποτέλεσμα, η απορροή του νερού κατάντη έχει μεγάλο όγκο και μεγάλη ταχύτητα.



Εικόνα 1.4: Οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στον υδρολογικό κύκλο. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

1.4.3 Πλημμύρες

Ως πλημμύρα ορίζεται η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό, περιλαμβανομένων και πλημμυρών από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους ή εφήμερα ρεύματα ή πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012). Οι πλημμύρες μπορούν να οδηγήσουν σε φυσικές καταστροφές, σε απειλή για την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια και να έχουν καταστρεπτικά αποτελέσματα στα οικοσυστήματα, καθώς και σοβαρές οικονομικές απώλειες στα άτομα και στην κοινωνία, γενικότερα (Burrell et al. 2007)

Η διαχείριση του κίνδυνου πλημμύρας στοχεύει στο να μειώσει τις επιπτώσεις και την πιθανότητα να συμβεί μια πλημμύρα. Έτσι, υιοθετείται ένα σύνολο αντιπλημμυρικών κατασκευαστικών μέτρων αλλά και μια ευρεία γκάμα μη δομικών μηχανισμών οι οποίοι δεν απαιτούν φυσικές κατασκευές, αλλά χρησιμοποιούν τη γνώση και άλλες πρακτικές για να μειώσουν τον κίνδυνο και τις επιπτώσεις της πλημμύρας. Αυτές οι πρακτικές είναι η θέσπιση νόμων, η εκπαίδευση, η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης (Dawson et al. 2011).

Οι πλημμύρες αποτελούν το ένα τρίτο όλων των φυσικών καταστροφών στον κόσμο και ευθύνονται για το 50% των απωλειών ζωών (Berz 2000). Στην Ευρώπη έχει αναγνωριστεί ότι οι πλημμύρες είναι η πιο συχνή και κοστοβόρα φυσική καταστροφή. Οι

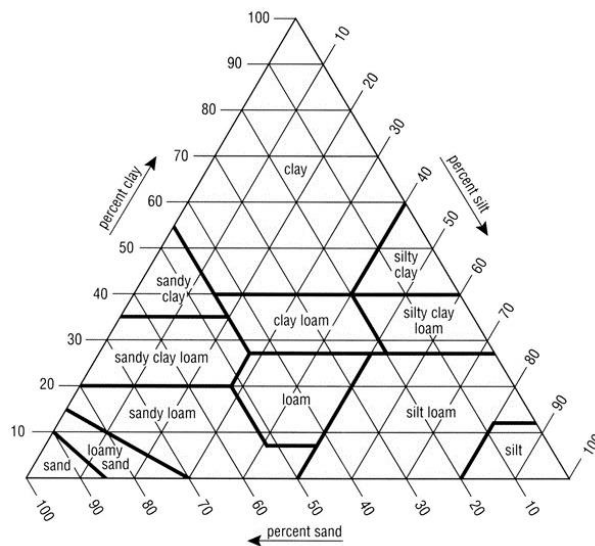
ζημιές από πλημμύρες έχουν αυξηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες και αναμένεται να αυξηθούν κι άλλο λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αστικοποίησης (Fratini et al. 2012).

Για παράδειγμα, τον Αύγουστο του 2002 σημειώθηκαν βροχοπτώσεις συχνότητας 1 στα 100 χρόνια στην Ευρώπη. Κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων που διήρκεσαν μια εβδομάδα πέθαναν δεκάδες άτομα, χιλιάδες έμεναν άστεγα και προκλήθηκαν ζημιές δισεκατομμυρίων ευρώ, ιδίως στη Δημοκρατία της Τσεχίας, την Αυστρία, τη Γερμανία και την Πολωνία. Ολόκληρα χωριά στην ανατολική Γερμανία ισοπεδώθηκαν σχεδόν ολοκληρωτικά καθώς οι υπερπλήρεις ποταμοί άλλαξαν την πορεία τους (Charlesworth 2010). Οι καταστροφές που προκλήθηκαν επίσης, από τις θερινές καταιγίδες του 2007 και του 2008 στο Ηνωμένο Βασίλειο, ανέδειξαν ότι οι αποχετευτικές υποδομές αδυνατούν να αντιμετωπίσουν την υφιστάμενη κατάσταση, πόσο μάλλον εάν συμβούν μερικές από τις πιο συντηρητικές προβλέψεις των πιθανών επιδράσεων της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Το 2007 στο Ηνωμένο Βασίλειο 13 άνθρωποι πέθαναν, 48.000 σπίτια και 7.300 επιχειρήσεις πλημμύρισαν (Charlesworth 2010).

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται όλο και περισσότερο αντιληπτό ότι οι μεγαλύτεροι σωλήνες δεν είναι η λύση για τις μεγαλύτερες καταιγίδες, ενώ όπως φαίνεται, τα αειφορικά συστήματα διαχείρισης ομβρίων και οι «θυσιαστικές περιοχές», δηλαδή η κατεύθυνση των νερών σε προκαθορισμένες περιοχές, είναι η πορεία που πρέπει να υιοθετηθεί στο μέλλον (Charlesworth 2010).

1.4.4 Διαπερατότητα του Εδάφους

Η ευκολία με την οποία το νερό εισέρχεται στο έδαφος εξαρτάται από το είδος του εδάφους αλλά και από τη γεωλογία του υπεδάφους. Η ικανότητα του εδάφους να διηθεί το νερό παρουσιάζεται με τον συντελεστή διήθησης ο οποίος είναι υψηλός για τα χονδρόκοκκα εδάφη, ενώ είναι χαμηλότερος για τα λεπτόκοκκα. Στο Γράφημα 1.2 παρουσιάζονται οι τυπικοί συντελεστές, οι οποίοι καθορίζονται ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους δηλαδή, από το ποσοστό του μεγέθους των κόκκων του.



**Γράφημα 1.2: Συντελεστές διαπερατότητας ανάλογα με την ταξινόμηση του εδάφους.
Πηγή (LANDIS 2016).**

Μετά το χαρακτηρισμό του εδάφους, μπορεί να προσδιοριστεί ο συντελεστής διαπερατότητας από τον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Τυπικοί συντελεστές διαπερατότητας του εδάφους, με βάση την ταξινόμηση του. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Soil type/texture	ISO 14688-1 description after (Blake 2010)	Typical infiltration coefficients (m/s)
Good infiltration media		
• gravel	Sandy GRAVEL	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$
• sand	Slightly silty slightly clayey SAND	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
• loamy sand	Silty slightly clayey SAND	$1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-5}$
• sandy loam	Silty clayey SAND	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
Poor infiltration media		
• loam	Very silty clayey SAND	$1 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-6}$
• silt loam	Very sandy clayey SILT	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
• chalk (structureless)	N/A	$3 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-6}$
• sandy clay loam	Very clayey silty SAND	$3 \times 10^{-10} - 3 \times 10^{-7}$
Very poor infiltration media		
• silty clay loam	-	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-6}$
• clay	-	$< 3 \times 10^{-8}$
• till	Can be any texture of soil described above	$3 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-6}$
Other		
rock* (note mass infiltration capacity will depend on the type of rock and the extent and nature of discontinuities and any infill)	N/A	$3 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-5}$

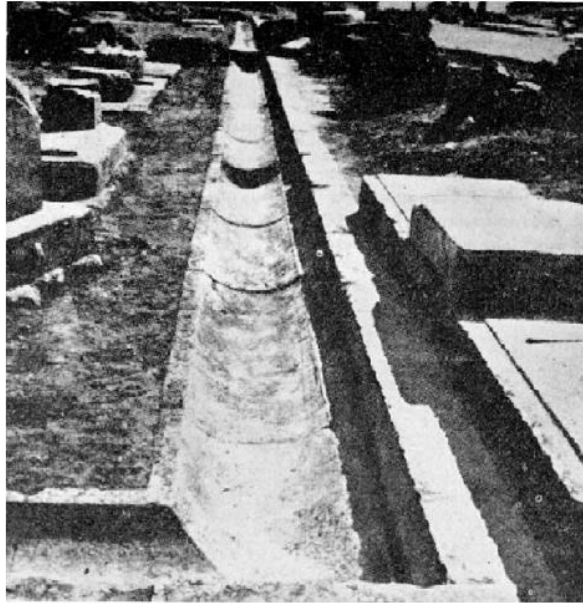
Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό, θα πραγματοποιηθεί μια ιστορική αναδρομή των συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων υδάτων. Στη συνέχεια, θα αναλυθεί το θεωρητικό και νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδάτων και θα γίνει παρουσίαση τόσο των συμβατικών συστημάτων όσο και των αειφορικών συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων υδάτων.

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Παρότι πολλοί θεωρούν ότι τα συστήματα αποχέτευσης είναι σχετικά μοντέρνα εφεύρεση, εντούτοις χρησιμοποιούνταν ήδη από τα αρχαία χρόνια, καθώς η αντιπλημμυρική προστασία και η παροχή πόσιμου νερού θεωρούνταν πολύ σημαντική ανάγκη της κοινωνίας από την αρχή της δημιουργίας της (Chocat et al. 2007). Συστήματα αποχέτευσης ομβρίων και λυμάτων, καθώς και εγκαταστάσεις υγιεινής έχουν ανακαλυφθεί στη Μεσοποταμία αλλά και στο Μινωικό ανάκτορο της Κνωσού (Angelakis et al. 2005; Koutsoyiannis et al. 2008). Οι αγωγοί των ομβρίων ήταν κυρίως λιθόκτιστοι και οδηγούσαν τα νερά είτε σε στέρνες αποθήκευσης είτε σε φυσικούς αποδέκτες όπως ποτάμια, λίμνες ή τη θάλασσα. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται ένα αρχαίο κανάλι ομβρίων.



Εικόνα 2.1: Κανάλι ομβρίων στην αγορά της αρχαίας Μεσσηνίας. Πηγή (Angelakis et al. 2005).

Στην αρχή της δημιουργίας των πόλεων, υιοθετήθηκε η αποχέτευση όλων των υγρών αποβλήτων με επιφανειακά κανάλια. Έτσι, δημιουργήθηκε το παντοροϊκό σύστημα αποχέτευσης, το οποίο ακολουθούσε τη φυσική μορφολογία του εδάφους και δεχόταν νερά της βροχής και λύματα μαζί. Με την πάροδο του χρόνου, όλα αυτά τα κανάλια άρχισαν να αποτελούν ενόχληση και μετά από διάφορες επιδημίες τύφου και χολέρας στην Ευρώπη αλλά και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, έγινε κατανοητό ότι έπρεπε να βρεθούν άλλες λύσεις χειρισμού και επεξεργασίας αυτών των αποβλήτων. Έτσι υιοθετήθηκε η κατασκευή υπόγειων αγωγών, ώστε να αποφεύγεται η ενόχληση των πολιτών (Chocat et al. 2007; Viavattene & Ellis 2013). Με την πάροδο όμως του χρόνου αποδείχθηκε ότι το σύστημα αυτό ήταν οικονομικά ασύμφορο, καθώς για να είναι οι αγωγοί αυτοί ικανοί να αποχετεύσουν τα όμβρια σε περίπτωση βροχόπτωσης, έπρεπε να σχεδιάζονται με διατομές τέτοιες που να μπορούν να ανταπεξέλθουν στην αυξημένη ροή των βροχοπτώσεων, κάτι το οποίο συνεπαγόταν μεγαλύτερο κόστος. Έτσι, υιοθετήθηκε η πρακτική που ακολουθείται και σήμερα, της κατασκευής ξεχωριστών αγωγών για τα όμβρια και άλλων για τα λύματα (χωριστικό σύστημα). Αυτό σήμαινε ότι τα λύματα πλέον οδηγούνταν σε εργοστάσια επεξεργασίας, ενώ τα όμβρια νερά οδηγούνταν απευθείας σε φυσικούς αποδέκτες (Burns et al. 2012).

Με τον τρόπο αυτό, βελτιώθηκε η κατάσταση των φυσικών αποδεκτών καθώς μειώθηκε κατά πολύ η ποσότητα λυμάτων που έρρεε σε αυτούς, όμως δεν εξαλείφθηκε τελείως καθώς τα νερά της βροχής περιείχαν ουσίες και αντικείμενα που μπορούσαν να μολύνουν το περιβάλλον (Charlesworth 2010).

Παρατηρούμε λοιπόν ότι όπως και στην αρχή της δημιουργίας τους, έτσι και σήμερα ο κύριος στόχος των δικτύων αποχέτευσης παραμένει η διασφάλιση της δημόσιας υγείας και η πρόληψη των πλημμυρών. Όμως τα τελευταία χρόνια, έχει δοθεί έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος αλλά και στα ψυχαγωγικά οφέλη που παρέχονται με τη χρήση αιωφορικών συστημάτων διαχείρισης ομβρίων (Zhou 2014), ενώ είναι γενική παραδοχή ότι κατά το σχεδιασμό των ΑΣΔΟ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη εκτός από την ποσότητα και η ποιότητα του νερού, η δυνατότητα ενίσχυσης της βιοποικιλότητας και η ευημερία των πολιτών (Kellagher et al. 2015).

Στην Κύπρο, είναι γνωστό ότι υπάρχει πρόβλημα λειψυδρίας, ενώ το ότι ανά περιόδους παρατηρούνται έτη ανομβρίας επιδεινώνει την κατάσταση. Έτσι, ήταν απαραίτητο να υιοθετηθούν από νωρίς μέτρα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων έλλειψης νερού. Τα μέτρα αυτά περιλάμβαναν υπόγειους λιθόκτιστους αγωγούς, στέρνες, πηγάδια και άλλες κατασκευές (Τουμαζής et al. 2009).



Εικόνα 2.2: Συστήματα μεταφοράς νερού (Τουμαζής et al. 2009).

Τα μέτρα αυτά, με την κατασκευή των φραγμάτων σιγά σιγά εγκαταλείφθηκαν. Έτσι, σήμερα η διαχείριση των ομβρίων στις αστικές περιοχές γίνεται με χρήση συμβατικών συστημάτων διαχείρισης ομβρίων.

2.2 Νομοθετικό Πλαίσιο

Μετά από την έκθεση Brundtland το 1987 (Brundtland 1987) στην οποία δημοσιοποιήθηκε για πρώτη φορά ο ορισμός της αειφόρου ανάπτυξης ακολούθησε η Ατζέντα του Ρίο το 1992, στην οποία δίνεται μεγαλύτερο βάρος στην αειφορική ανάπτυξη. Ως μέρος αυτής, η αειφορική διαχείριση του νερού έχει προωθηθεί ιδιαίτερα ως εναλλακτική λύση ή και ως συμπλήρωμα των συμβατικών συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων, ώστε να εξασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη ικανότητα των συστημάτων αυτών να αντεπεξέλθουν στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες (Larsen & Gujer 1997).

Πλέον, κατά τον σχεδιασμό της διαχείρισης του νερού, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην ποιότητα του νερού. Για το λόγο αυτό, έχει εκδοθεί η οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2000) για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, η οποία επιβάλλει για κάθε λεκάνη απορροής, την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης.

Στόχοι της οδηγίας είναι είναι η πρόληψη και η μείωση της ρύπανσης, η προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού, η προστασία του περιβάλλοντος, η βελτίωση της κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων και η μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρών και των ξηρασιών.

Στη συνέχεια, το 2007 τέθηκε σε ισχύ η οδηγία 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2007) για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Στόχος της οδηγίας αυτής, είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2007). Με βάση την οδηγία αυτή, τα σχέδια διαχείρισης πλημμύρας θα πρέπει να ευνοούν μη δομικά μέτρα και να στοχεύουν στην ανοχή των υποδομών έναντι των πλημμυρών και την ετοιμότητα της κοινωνίας να τις αντιμετωπίσουν. Επίσης προωθεί την ολιστική προσέγγιση της διαχείρισης πλημμύρας

και δημιουργεί νέες ευκαιρίες για την περαιτέρω ανάπτυξη του τομέα του ύδατος, καθώς μετατοπίζει την προσοχή της κοινωνίας στον κίνδυνο της πλημμύρας (Fratini et al. 2012).

Η Κυπριακή Δημοκρατία έχει μεταφέρει πλήρως την οδηγία αυτή στην Εθνική Νομοθεσία με τον «Ο Περί Προστασίας και Διαχείρισης των Υδάτων Νόμος του 2004» (N13(I)/2004). Ο Νόμος έχει εγκριθεί από τη Βουλή των Αντιπροσώπων στις 5 Φεβρουαρίου του 2004 και έχει δημοσιευθεί στην επίσημη εφημερίδα της Δημοκρατίας στις 20 Φεβρουαρίου του 2004 (No.3812, σελίδες 85, 1(1)-180, 1(1)), με ισχύ από τις 22 Δεκεμβρίου του 2003 (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015b).

2.3 Διεθνής Πραγματικότητα

Με βάση την αλλαγή των πολιτικών κατευθύνσεων προς την αειφορική διαχείριση των ομβρίων, έχουν δρομολογηθεί διάφορες πρωτοβουλίες διεθνώς, οι οποίες έχουν σκοπό την προώθηση της χρήσης των ΑΣΔΟ.

Ως αποτέλεσμα της προώθησης της αειφορικής διαχείρισης των υδάτων, διάφορα σημαντικά ερευνητικά προγράμματα έχουν ξεκινήσει να εφαρμόζονται παγκοσμίως. Στη Δανία, τα μεγάλα εθνικά ερευνητικά προγράμματα περιλαμβάνουν το πρόγραμμα «νερό στις αστικές περιοχές» (Water in urban areas) το οποίο στοχεύει στη μεταμόρφωση των υποδομών σε συστήματα που να μπορούν να αντεπεξέλθουν στην κλιματική αλλαγή και το πρόγραμμα 2BG (Black, blue and green) το οποίο εστιάζει στον ολοκληρωμένο προγραμματισμό των υποδομών ώστε να επιτευχθούν βιώσιμα αστικά υδάτινα συστήματα. Τα έγγραφα εργασίας από το πρόγραμμα 2BG αναπτύσσουν περαιτέρω τους κύριους σκοπούς του έργου και περιλαμβάνουν τις μελέτες περίπτωσης, που αφορούν στα αειφορικά συστήματα διαχείρισης ομβρίων που εφαρμόζονται στη Δανία και τις Κάτω Χώρες (Fryd et al. 2009).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, ο Οργανισμός για την Έρευνα και Πληροφορία της Οικοδομικής Βιομηχανίας (Construction Industry Research and Information Association - CIRIA) προωθεί τα ΑΣΔΟ και έχει δημοσιεύσει μια σειρά εγγράφων σχετικά με τις πρακτικές που ακολουθούν κατά τον σχεδιασμό, αλλά και με διάφορα έργα που έχουν κατασκευαστεί.

Στη Σουηδία, έχει ξεκινήσει ένα μεγάλο εξαετές ερευνητικό πρόγραμμα που ονομάζεται «Αειφορική Αστική Διαχείριση των Υδάτων» (“Sustainable Urban Water Management”), το οποίο εστιάζει στην προστασία των πολύτιμων υδάτινων πόρων στις αστικές περιοχές.

Στην Αυστραλία, μια από τις μεγαλύτερες ερευνητικές δραστηριότητες στις βιώσιμες λύσεις αποχετεύσεων ομβρίων είναι το Συνεργατικό Ερευνητικό Κέντρο για τις Πόλεις το οποίο συγκεντρώνει πάνω από 70 διεπιστημονικούς συνεργάτες. Το κέντρο αυτό παρουσιάζει βιώσιμες στρατηγικές για τη διαχείριση του νερού, οι οποίες προκαλούν τη μεταμόρφωση της πόλης σε ένα πιο βιώσιμο και προσαρμόσιμο περιβάλλον (Langenbach et al. 2008; Wong & Brown 2009).

Η Μάλτα υιοθέτησε αντισταθμιστικά μέτρα για το υψηλό ποσοστό σφραγισμένων εδαφών, το οποίο ανερχόταν σε ποσοστό περίπου 13% της εθνικής επικράτειας. Έτσι, εφάρμοσε ρυθμίσεις για την ανάπτυξη, που αφορούσαν στη συλλογή υδάτων στις αστικές περιοχές. Αυτό το αντισταθμιστικό μέτρο, σήμερα ενισχύεται περισσότερο μέσω των τεχνικών κατευθυντηρίων γραμμών για τη διατήρηση των καυσίμων, της ενέργειας και των φυσικών πόρων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012).

2.4 Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων

Σήμερα, οι περισσότερες μεγαλουπόλεις αντιμετωπίζουν οξύτατο πρόβλημα από τα όμβρια ύδατα που συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την εμφάνιση κάποιας βροχόπτωσης. Η αναποτελεσματική απομάκρυνση των νερών αυτών αποτελεί εστία ρύπανσης στο ήδη επιβαρυσμένο από τα καυσαέρια αστικό περιβάλλον και επικίνδυνη σε ότι αφορά την ασφάλεια των ανθρώπων. Είναι απαραίτητη η σωστή διαχείριση των υδάτων αυτών, ώστε να αποφευχθούν τυχόν αρνητικές συνέπειες στο ανθρώπινο περιβάλλον και την υγεία.

Συμβατικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων

Τα συμβατικά συστήματα διαχείρισης των νερών της βροχής, αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό δομικών κατασκευών, όπως είναι οι τσιμεντοσωλήνες και οι υπόγειες δεξαμενές. Σχεδιάζονται ώστε να μπορούν να συλλέξουν και να μεταφέρουν το νερό από τις αστικές περιοχές όσο το δυνατό γρηγορότερα, σε κοντινούς φυσικούς αποδέκτες

(Chocat et al. 2007; Hatt et al. 2004; Wang et al. 2008). Ο κύριος σκοπός τους είναι να διαχειριστούν τον όγκο του νερού προκειμένου να αποφευχθούν οι πλημμύρες στις περιοχές των πόλεων. Το νερό, αντιμετωπίζεται ως ενόχληση και μεταφέρεται με τρόπο ώστε να βρίσκεται «εκτός του οπτικού πεδίου και της αντίληψης» (out of sight, out of mind) (Chocat et al. 2007).

Οι συμβατικές μέθοδοι για την αντιμετώπιση της αύξησης στη ροή είναι η αναβάθμιση των υφιστάμενων αγωγών και δικτύων είτε με την αντικατάσταση με νέους αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου ή με την τοποθέτηση επιπρόσθετων αγωγών και φρεατίων (Εικόνα 2.3). Αυτές οι μέθοδοι είναι οικονομικά ασύμφορες και πολλές φορές τεχνικά αδύνατες λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χώρου στον αστικό ιστό.



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα από την περιοχή μελέτης. Επειδή συγκεντρώνεται νερό στη συγκεκριμένη οδό, έχουν κατασκευαστεί τεράστιες σχάρες για τη συλλογή των ομβρίων.

Πολλοί ερευνητές έχουν εκφράσει τις ανησυχίες τους για τη μακροπρόθεσμη αιφορικότητα και τη βιωσιμότητα αυτών των συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων και ερευνούν τις αρνητικές επιδράσεις τους στο περιβάλλον (Roy et al. 2008; Zevenbergen et al. 2008). Εκτός από τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, έχει αυξηθεί η ανησυχία όσο αφορά στην αδυναμία προσαρμογής των συμβατικών συστημάτων στην επερχόμενη μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών και την επιπρόσθετη αστικοποίηση. Ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτών, γίνεται με στόχο να ικανοποιούν βροχοπτώσεις με συγκεκριμένη

περίοδο επαναφοράς και με συγκεκριμένη ένταση. Έτσι, σε περίπτωση εμφάνισης μεγαλύτερων βροχοπτώσεων από την βροχόπτωση σχεδιασμού, δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις και ως συνέπεια δημιουργούνται πλημμύρες, με όλα τα επακόλουθα. Έτσι, για να μπορούν να ανταποκριθούν ικανοποιητικά στην κλιματική αλλαγή είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν για μεγαλύτερες βροχοπτώσεις, κάτι που όμως έχει άμεσες επιπτώσεις στο κόστος κατασκευής τους (Mailhot & Duchesne 2010; Burrell et al. 2007). Ήδη, πολλοί μελετητές έχουν αναφέρει ότι η αναμενόμενη αύξηση στις εντάσεις των βροχοπτώσεων έχει επιφέρει αύξηση στις βροχοπτώσεις σχεδιασμού των δικτύων ομβρίων σε ποσοστό περίπου 20%-80%, ανάλογα με την περιοχή (Arnbjerg-Nielsen 2012; Ekström et al. 2005; Willems 2012).

Επίσης, έχουν παρατηρηθεί αρκετά προβλήματα που σχετίζονται με τα υφιστάμενα αποχετευτικά συστήματα ομβρίων, τα οποία εμφανίζονται στις περισσότερες περιοχές, ενώ ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε μέρος προκύπτουν και άλλα προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα οφείλονται κυρίως στην αστικοποίηση και έχουν πολλαπλές επιπτώσεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Προβλήματα των συμβατικών αποχετευτικών δικτύων ομβρίων

Πρόβλημα	Επίπτωση
Η αύξηση της ποσότητας του νερού που προέρχεται από αδιαπέρατες επιφάνειες	<ul style="list-style-type: none"> - Αύξηση της ταχύτητας ροής, - Μείωση του χρόνου συρροής των νερών και αύξηση της μέγιστης απορροής στους δρόμους τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και συχνά την απώλεια ζώων, - Μείωση της ροής στους ποταμούς. - Μείωση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την έλλειψη νερού, - Διάβρωση του εδάφους και των δομικών κατασκευών
Υποβάθμιση της ποιότητας του νερού	Τα αστικά όμβρια ύδατα αποτελούν ένα βασικό παράγοντα μόλυνσης των φυσικών αποδεκτών, καθώς περιέχουν οργανικές ύλες, βαρέα μέταλλα, φερτά υλικά και άλλα, τα οποία παρασύρουν και μεταφέρουν
Υποβάθμιση του τοπίου	<ul style="list-style-type: none"> - Η ροή από αγωγούς ομβρίων θέτει σε κίνδυνο τη βιολογική ακεραιότητα των υδάτινων σωμάτων που την παραλαμβάνουν και ιδιαίτερα την βιοποικιλότητα της χλωρίδας και πανίδας. - Μηδενίζεται η δυνατότητα χρήσης των υδάτινων αποδεκτών, όπως είναι η πόσιμη παροχή νερού, το κολύμπι, η αλιεία, η θελκτικότητα και η αισθητική της περιοχής καθώς επίσης και η ψυχαγωγική δυνατότητα του τοπίου.
Λειτουργία υφιστάμενων δικτύων αποχέτευσης λυμάτων	<ul style="list-style-type: none"> - Μείωση της απόδοσης των εργοστασίων επεξεργασίας λυμάτων και η υπερχειλίση των αγωγών λυμάτων ως αποτέλεσμα της εισροής ομβρίων στο σύστημα, σε περίπτωση παντορροϊκών συστημάτων. - Γήρανση των αποχετευτικών συστημάτων και η δαπανηρή αποκατάστασή τους

Ένα άλλο βασικό μειονέκτημα των συμβατικών συστημάτων μεταφοράς ομβρίων υδάτων, είναι ότι η γρήγορη απομάκρυνση της βροχής έχει αποτέλεσμα τη μείωση της απορρόφησης του νερού από το έδαφος και συνεπώς τη μείωση του επιπέδου του

υδροφόρου ορίζοντα. Η διοχέτευση του νερού μέσω αγωγών σημαίνει ότι προσπερνώνται οι φυσικές διεργασίες όπως είναι η διείσδυση, η διήθηση του νερού στο έδαφος και η εξατμισοδιαπνοή, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη η ποιότητα του νερού και ακόμα λιγότερο ενδιαφέρον δίνεται στις δυνατότητες ψυχαγωγίας και αναψυχής των πολιτών. Οι δαπάνες δε και ο χρόνος που απαιτούνται για την κατασκευή και συντήρηση τους είναι τεράστια.

Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων (ΑΣΔΟ)

Τα ΑΣΔΟ είναι ένα σύνολο μέτρων τα οποία προσεγγίζουν τη διαχείριση των νερών της βροχής με διαφορετικό τρόπο από ότι τα συμβατικά. Αντί του περιορισμού του νερού της βροχής στους αγωγούς και τη γρήγορη απομάκρυνση του, τα ΑΣΔΟ αποσκοπούν στην κατακράτηση και τη διήθηση του νερού στην περιοχή όπου αυτό πέφτει. Έτσι, αντί το νερό αυτό να αντιμετωπίζεται ως ένα εμπόδιο το οποίο πρέπει να κρύβεται και να μη γίνεται αντιληπτό, αντιμετωπίζεται ως «υγρό προτέρημα» (Semadeni-Davies et al. 2008). Με τον τρόπο αυτό, η κοινωνία λαμβάνει υπόψη της τη συμπεριφορά του νερού και προσαρμόζεται σε αυτήν, αντί να αναμένει το νερό να αλλάξει για χάρη της (Charlesworth 2010), κάτι που δεν είναι εφικτό να γίνει καθώς η φύση δεν εξημερώνεται εύκολα.

Οι τεχνικές ΑΣΔΟ συστήνονται ευρέως και εφαρμόζονται σε πολλά μέρη του κόσμου (Butler & Davies 2004). Η ορολογία διαφέρει ανάλογα με την περιοχή αλλά η φιλοσοφία σχεδιασμού είναι παντού παρόμοια, με μικρές παραλλαγές.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο και γενικότερα στην Ευρώπη, αρχικά χρησιμοποιούταν ο όρος Αειφορικά Αστικά Συστήματα Αποχέτευσης Ομβρίων, δηλαδή Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). Δεδομένου όμως του ότι τα συστήματα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν και σε μη αστικές περιοχές καταργήθηκε η λέξη «Αστικά» και επικράτησε ο όρος Sustainable Drainage Systems (SuDS). Στα SuDS δίνεται έμφαση στη διατήρηση της καλής δημόσιας υγείας, στην προστασία των υδάτινων πόρων από τη ρύπανση και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και των φυσικών πόρων (Willems et al. 2012)

Στην Αυστραλία χρησιμοποιείται ο όρος Water Sensitive Urban Design (WSUD) για τα συστήματα αυτά. Είναι μέρος της συνολικής διαχείρισης του νερού και δίνεται έμφαση στην ενσωμάτωση του νερού στο αστικό τοπίο έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η

περιβαλλοντική υποβάθμιση και να επιτευχθεί αρμονία μεταξύ του νερού και του αστικού περιβάλλοντος (Roy et al. 2008; Mitchell 2005).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στον Καναδά, η αειφορική διαχείριση ομβρίων υδάτων είναι γνωστή ως Low Impact Development (LID), το οποίο μεταφράζεται ως ανάπτυξη χαμηλών επιπτώσεων. Η προσέγγιση αυτή, προωθεί την αλληλεπίδραση των φυσικών διαδικασιών με το αστικό περιβάλλον, ώστε να διατηρηθούν τα υφιστάμενα και να δημιουργηθούν και νέα οικοσυστήματα (Zevenbergen et al. 2008). Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται συνήθως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, είναι η Πράσινη Υποδομή (Green infrastructure). Οι πράσινες υποδομές περιέχουν βλάστηση. Οι πράσινες οροφές, τα πάρκα, οι λίμνες, τα διαπερατά δάπεδα και τα αυλάκια θεωρούνται το κλειδί στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (Carter 2011), καθώς προωθούν τις φυσικές διαδικασίες και βελτιώνουν την υγεία των πολιτών και την ποιότητα ζωής τους (Benedict & McMahon 2002).

Στην Ελλάδα και στην Κύπρο δεν έχει θεσπιστεί ένας όρος συγκεκριμένος. Στη βιβλιογραφία έχουν χρησιμοποιηθεί οι όροι Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ομβρίων Υδάτων, Αειφορική Διαχείριση Ομβρίων Υδάτων ή Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων. Σε αυτή τη μεταπτυχιακή διατριβή θα χρησιμοποιείται ο όρος Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων (ΑΣΔΟ).

Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις έχουν κοινούς στόχους (Fletcher et al. 2013):

1. Την αειφορική διαχείριση του αστικού κύκλου νερού, λαμβάνοντας υπόψη το επιφανειακό νερό, τον υπόγειο υδροφόρα, τις πλημμύρες και τις επιπτώσεις στην πορεία των νερών
2. Τη διατήρηση ή την επιστροφή της απορροής στα επίπεδα που ήταν πριν την ανάπτυξη της περιοχής
3. Την προστασία και την αναβάθμιση της ποιότητας του νερού (επιφανειακού και υπόγειου)
4. Την προστασία και αποκατάσταση των φυσικών αποδεκτών
5. Την προστασία των υδάτινων πόρων. Πλέον στους υδάτινους πόρους συμπεριλαμβάνεται και η βροχή, η οποία δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως ενόχληση
6. Την αναβάθμιση του αστικού τοπίου

Επιπτώσεις και Περιορισμοί των Συστημάτων Διαχείρισης Ομβρίων

Οι δημοφιλέστερες κατασκευές ΑΣΔΟ που εφαρμόζονται (Εικόνα 2.4), περιλαμβάνουν τάφρους (φίλτρου και διήθησης), διαπερατές επιφάνειες, δεξαμενές αποθήκευσης και συγκομιδής νερού, αυλάκια, λεκάνες κατακράτησης, υγροτόπους και λίμνες. Τα περισσότερα φυτεύονται με δέντρα ή άλλη βλάστηση.



Εικόνα 2.4: Φωτογραφίες από ΑΣΔΟ.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, τα οφέλη των ΑΣΔΟ είναι πολλαπλά. Επιφέρουν μείωση στη ρύπανση των υδάτων και βελτίωση της ποιότητάς τους διότι μειώνουν την απορροή κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων και συνεπώς εμφανίζονται λιγότερες υπερχειλίσεις αγωγών και πλημμύρες. Επαναφορτίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα, βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα και την υγεία των ανθρώπων και προσφέρουν ανοικτούς χώρους πρασίνου. Τέλος, ενισχύουν τη βιοποικιλότητα και βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και νερού (Ando & Netusil 2013). Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν κάποια από αυτά τα οφέλη τους.

2.4.1 Αποδόμηση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂)

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν εκτενείς αναφορές στην ικανότητα των ΑΣΔΟ να αποδομούν ή να κατακρατούν τα διάφορα μέταλλα και ουσίες που είναι διάχυτα στο αστικό περιβάλλον όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, οι Nowak & Crane (2002) μέτρησαν την αποθήκευση άνθρακα στα δέντρα αστικών πάρκων και οδών στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και βρήκαν ότι αυτά αποθήκευσαν περίπου 700 Mt (Εκατομμύρια Τόνους) με συχνότητα η οποία ανέρχεται σε 22.8 Mt ανά έτος. Οι Whitford et al. (2001) επίσης, υπολόγισαν τον άνθρακα που αποθηκεύεται σε κατοικημένες περιοχές με πυκνή βλάστηση δέντρων στο Merseyside και βρήκαν ότι η δυνατότητα αποθήκευσης άνθρακα στα δέντρα αυτά ήταν περισσότερη από 16 τόνους ανά εκτάριο, με συχνότητα αποθήκευσης μέχρι 0.13 τόνους ανά εκτάριο το έτος.

Ομοίως, οι Pataki et al. (2006) ασχολήθηκαν με επτά Αμερικανικές πόλεις, στις οποίες ο αριθμός των αστικών δέντρων βρέθηκε ότι ποικίλλει από περίπου 17.000 μέχρι σχεδόν 200.000 και τα ποσοστά απομάκρυνσης ανά δέντρο υπολογίστηκαν μεταξύ 33 και 126 κιλών ανά έτος. Το κάθε ένα από τα δέντρα αυτά υπολογίστηκε ότι αποφέρει μείωση της συνολικής ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από 80 έως 250 κιλά.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα το εύρος της μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ένα τυπικό οικογενειακό αυτοκίνητο μπορεί να απελευθερώσει 1 τόνο CO₂ ανά έτος (Charlesworth 2010). Κατά συνέπεια, ένα εκτάριο φυτεμένης γης με δέντρα, ή περίπου 160 δέντρα τα οποία αποθηκεύουν κατά μέσο όρο περίπου 100 κιλά CO₂ το καθένα, θα μπορούσαν να αντισταθμίσουν εκπομπές CO₂ ίσες με αυτές που εκπέμπουν 16 οικογενειακά αυτοκίνητα το χρόνο (Charlesworth 2010).

2.4.2 Μείωση του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας

Η αστική θερμική νησίδα είναι ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρήθηκε αρχικά το 1819 στο Λονδίνο και είναι ιδιαίτερα εμφανής σε μεγάλες πόλεις, στο κέντρο των οποίων παρατηρείται υψηλότερη θερμοκρασία από ότι στα προάστια. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιδράσεις στην ανθρώπινη άνεση και την υγεία, ιδίως κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων όπως είναι οι περίοδοι καύσωνα (Chen & Wong 2006).

Οι θερμικές νησίδες δημιουργούνται σε περιοχές οι οποίες είτε λόγω έλλειψης πρασίνου, είτε λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων ή λόγω των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών κατασκευής των οικοδομών, αποθηκεύεται θερμότητα κατά τη διάρκεια της μέρας, η οποία απελευθερώνεται αργότερα (Rizwan et al. 2008). Βασική αιτία του φαινομένου αυτού είναι ότι ο θερμός αέρας και οι ρύποι παγιδεύονται στις περιοχές αυτές διότι δεν υπάρχουν οδοί διαφυγής τους. Ειδικά σε περιόδους καύσωνα το φαινόμενο αυτό γίνεται εντονότερο, καθώς η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους για να δροσίσουν το εσωτερικό των κτηρίων έτσι ώστε να μπορούν να ζήσουν και να εργαστούν με άνεση, αυξάνει την εξωτερική θερμοκρασία (Charlesworth 2010).

Για να γίνει πιο κατανοητό το εύρος του φαινομένου, είναι δυνατό με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης να εντοπιστούν διακριτές θερμικές νησίδες (Wilson et al. 2003), οι οποίες εξαρτώνται από τη διανομή και τη δομή των κτηρίων και των οδών. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να εντοπιστούν και οι περιοχές που έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες και οι οποίες συνήθως είναι τα πάρκα και το περιοχές πρασίνου (Chen & Wong 2006). Αυτό οφείλεται στο ότι η απορρόφηση θερμότητας από τη βλάστηση είναι μικρότερη απ' ότι στα συμβατικά υλικά (π.χ. άσφαλτος).

Η ενσωμάτωση της βλάστησης στις αστικές περιοχές αναφέρεται από τους Chen & Wong (2006) ως ο σημαντικότερος τρόπος μείωσης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Μέσω της δημιουργίας «οάσεων» μπορεί να μειωθούν οι θερμοκρασίες τοπικά. Αυτό το γεγονός που μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της τοπικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος αέρα και στη μείωση της ποσότητας ενέργειας που απαιτείται για κλιματισμό. Ένα άλλο μέτρο για την αντιμετώπιση της θερμικής νησίδας είναι η δημιουργία πράσινων στεγών, οι οποίες έχουν ως επιπρόσθετο πλεονέκτημα το ότι μπορούν να τοποθετηθούν επάνω σε υφιστάμενα κτήρια, χωρίς την ανάγκη εξεύρεσης επιπρόσθετου χώρου. Στην πραγματικότητα, όπως αναφέρουν οι Mentens et al. (2006) ο αχρησιμοποίητος χώρος των στεγών μπορεί να αντιπροσωπεύει μέχρι και το 50% των στεγανών επιφανειών των πόλεων.



Εικόνα 2.5: Πράσινη οροφή σε κεκλιμένη στέγη. Πηγή (New York State 2007).

Ο πολεοδομικός σχεδιασμός που εμπνέεται από την ιδέα της πράσινης υποδομής, μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και να φέρει ως αποτέλεσμα την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό, με την παράλληλη αποφυγή της υψηλής εκροής και την αποσυμφόρηση των συστημάτων αγωγών, τη μείωση απορροής ομβρίων υδάτων τα οποία διαφορετικά ρυπαίνουν τους υδάτινους αποδέκτες, μέσω της επεξεργασίας των όμβριων υδάτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012) απευθείας στο χώρο όπου συμβαίνουν οι βροχοπτώσεις, και στην αποφυγή της εισόδου των μολυσμένων εκροών στα αποχετευτικά συστήματα. Η πυκνή χαμηλή βλάστηση και η δενδροφύτευση μέσα και γύρω από τις αστικές περιοχές μπορούν να απορροφήσουν μεγάλες ποσότητες σκόνης και ατμοσφαιρικούς ρύπους και επίσης, σε κάποιο βαθμό, να ενεργούν ως φίλτρο θορύβου και να περιορίζουν τους επιβλαβείς οργανισμούς (π.χ. έντομα).

2.4.3 Αντιμετώπιση Πλημμυρών

Μια από τις βασικότερες επιπτώσεις της σφράγισης του εδάφους, είναι ότι εμποδίζεται η απορρόφηση των ομβρίων υδάτων και ο καθαρισμός τους από το έδαφος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές ζημιές στην περίπτωση ιδιαίτερα έντονων βροχοπτώσεων, αλλά δημιουργεί επίσης προβλήματα και στην περίπτωση μη ακραίων συνθηκών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012), όπως είναι η μείωση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα.

Τα ΑΣΔΟ αρχικά αποτέλεσαν μια αντίδραση στην ολοένα και αυξανόμενη επίστρωση του εδάφους που έφερε η αστικοποίηση. Οι νέες οικιστικές περιοχές που δημιουργήθηκαν

άρχισαν να πλήγονται επανειλημμένα από ξαφνικές πλημμύρες, με συνεπακόλουθο τη ρύπανση που αυτές δημιουργούν, τη μείωση της βιοποικιλότητας και κατά συνέπεια τη μείωση της ελκυστικότητας της περιοχής. Με την επικείμενη απειλή της αύξησης των ραγδαίων βροχοπτώσεων, ο αρχικός ρόλος των ΑΣΔΟ ως μέτρα ελέγχου των πλημμυρών έγινε σημαντικότερος. Τα ΑΣΔΟ έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό εδώ και αρκετές δεκαετίες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, τη Σκανδιναβία, τη Σουηδία, και την ηπειρωτική Ευρώπη, ιδίως τη Γερμανία και τη Γαλλία (Charlesworth 2010).

Στο Γράφημα 2.1 παρουσιάζεται η αύξηση της μέγιστης απορροής (peak-flow) μετά από μία βροχόπτωση σε μια περιοχή πριν και μετά την αστικοποίηση. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη απορροή πριν την ανάπτυξη της περιοχής είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτή που εμφανίζεται μετά.



Γράφημα 2.1 Το υδρογράφημα μιας βροχόπτωσης πριν και μετά την αστικοποίηση.

Η αιφορική διαχείριση των ομβρίων υδάτων μιμείται το φυσικό κύκλο του ύδατος. Έτσι, αντί το νερό να διοχετεύεται σε αγωγούς για να απομακρυνθεί γρήγορα από το χώρο, διατηρείται όσο το δυνατό περισσότερο στην περιοχή όπου ήρθε σε επαφή με το έδαφος. Η χρήση πορωδών υλικών και επιφανειών μπορεί να βοηθήσει, αλλά σε περιπτώσεις όπου το νερό δεν μπορεί να διηθηθεί, στόχος είναι να επιβραδυνθεί η απορροή ώστε να μειωθεί η αιχμή πλημμύρας και οι επακόλουθες πλημμύρες.

Οι πράσινες στέγες μπορούν σε κάποιο βαθμό να συμβάλουν στην πρόληψη της επιφανειακής απορροής. Αυτό απεδείχθη για παράδειγμα, στο κέντρο της πόλης του Μάντσεστερ και στις πυκνοδομημένες περιοχές της πόλης όπου μετά από εφαρμογή πράσινων στεγών παρατηρήθηκε η μείωση της επιφανειακής απορροής μέχρι και κατά 20 χιλιοστόμετρα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012). Η κατασκευή μιας πράσινης στέγης μπορεί να απορροφήσει μέχρι και το 100% μίας μέτριας βροχόπτωσης ανάλογα με τις συνθήκες, ενώ έχει υπολογιστεί ότι εάν μετατραπεί μόνο το 10% των στεγών μιας περιοχής σε πράσινες, θα επέλθει μείωση 2.7% της απορροής του νερού και θα παρατηρηθεί μέση μείωση της απορροής κατά 54% ανά κτήριο (Mentens et al. 2006).

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι όλοι οι χώροι πρασίνου ανεξαρτήτως μεγέθους, όπως παρτέρια, νησίδες κλπ. μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση του βρόχινου νερού. Με την εκμετάλλευσή τους μπορεί να επιτευχθεί η απορρόφηση των νερών από το έδαφος, απαλλάσσοντας την επιφάνεια από το μεγάλο όγκο νερού και εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς.

2.4.4 Ευημερία και Προσαρμογή στις Κλιματικές Αλλαγές

Μια σειρά από μελέτες (de Vries et al. 2003; Groenewegen et al. 2006; Maas et al. 2006) έχουν δείξει ότι η παρουσία χώρων πρασίνου σε μια πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή έχει θετικό αντίκτυπο στην υγεία και την ευημερία των κατοίκων. Η μελέτη των Laforzezza et al. (2009) κατέδειξε ότι σε περιόδους έντονης ζέστης οι χώροι αυτοί προσφέρουν στους πολίτες πρόσβαση σε σκιά και δροσιά.

Συγχρόνως, υπάρχει αυξανόμενη αναγνώριση της δυνατότητας τέτοιων συστημάτων να συμβάλλουν θετικά στην αναβάθμιση του αστικού τοπίου (Zhou et al. 2013). Το νερό αντιμετωπίζεται ως πλεονέκτημα, για τη δημιουργία νέων χώρων αναψυχής στο αστικό τοπίο (France 2002). Με αυτόν τον τρόπο, το αστικό νερό δεν είναι πλέον κρυμμένο από το κοινό, αλλά χρησιμοποιείται ως πλεονέκτημα για την αύξηση της ικανοποίησης των κατοίκων (Fratini et al. 2012; Semadeni-Davies et al. 2008).

2.5 Η Φιλοσοφία της Αειφορικής Διαχείρισης

Ομβρίων

Στα ΑΣΔΟ περιλαμβάνεται σειρά τεχνικών για τη διαχείριση της ροής της απορροής των υδάτων από μια τοποθεσία, με την επί τόπου επεξεργασία τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο φόρτος των συμβατικών συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων. Στόχος τους είναι η αναπαραγωγή φυσικών συστημάτων που χρησιμοποιούν αποτελεσματικές λύσεις με χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο για την απορροή των επιφανειακών υδάτων εκροής μέσω της συλλογής, της αποθήκευσης και του καθαρισμού, πριν μπορέσουν να επανέλθουν βραδέως στο περιβάλλον (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012).

Τα Αειφορικά Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων, σε αντίθεση με τα συμβατικά, δίνουν έμφαση στη βελτίωση της ποιότητας του νερού της απορροής, στην οπτική ελκυστικότητα, στην ψυχαγωγική αξία, στην οικολογική προστασία και στις εναλλακτικές χρήσεις του νερού (Chocat et al. 2007; France 2002). Η φιλοσοφία της Αειφορικής Διαχείρισης Ομβρίων παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Η φιλοσοφία των συμβατικών μορφών διαχείρισης ομβρίων (αριστερά) και των ΑΣΔΟ (SuDS) (δεξιά). Πηγή (Sudsdrain 2012b).

Οι κατασκευές των ΑΣΔΟ μπορούν να είναι δομικές ή μη-δομικές. Οι δομικές περιλαμβάνουν τη χρησιμοποίηση κυρίως σταθερών φυσικών κατασκευών, όπως είναι οι υγρότοποι, οι λίμνες και τα αυλάκια. Οι μη-δομικές κατασκευές περιλαμβάνουν αποκεντρωμένα και μικρής κλίμακας ήπια μέτρα και εγκαταστάσεις όπως είναι η

βλάστηση, αλλά και η κατάρτιση πρακτικών ώστε να επηρεαστεί η συμπεριφορά των πολιτών και των υπηρεσιών όπως είναι η κατάρτιση εκπαιδευτικών προγραμμάτων και η θέσπιση πολιτικών και νόμων (Fratini et al. 2012; Taylor & Wong 2002).

Επίσης, τα ΑΣΔΟ περιλαμβάνουν επιφανειακές και υπόγειες κατασκευές, ουσιαστικά «σκληρές» κατασκευές όπως είναι οι διαπερατές επιφάνειες και η συγκομιδή όμβριων υδάτων ή «ήπιες» που χρησιμοποιούν τη βλάστηση, όπως είναι οι πράσινοι τοίχοι και οι στέγες, οι τεχνητοί υγρότοποι και τα αυλάκια διήθησης με τα οποία το νερό διεισδύει στο έδαφος ή τίθεται υπό κράτηση και επιτρέπεται να απομακρυνθεί αργά, όπως για παράδειγμα στις λίμνες κατακράτησης και διήθησης (Charlesworth 2010).

Όλες οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά είτε να συνδυαστούν για να παρέχουν τα οφέλη τους κατά σειρά και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, έτσι ώστε να γίνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση όλων των λειτουργιών τους. Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές μπορούν να είναι είτε συγκεντρωμένα μέτρα τα οποία να απευθύνονται στην πηγή κάποιου ορισμένου σημείου ρύπανσης, είτε αποκεντρωμένες μικρής κλίμακας λύσεις οι οποίες στοχεύουν στην καταπολέμηση της διάχυτης ρύπανσης (Mitchell 2005).

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός και Στόχος

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να παρουσιαστούν οι δυνατότητες των ΑΣΔΟ για να υιοθετηθούν από τις τοπικές αρχές και τους πολίτες και να παρουσιαστούν εφαρμογές τους στην περιοχή της πόλης της Λεμεσού. Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη μελέτη και εφαρμογή των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν παραδείγματα διαφορετικών ΑΣΔΟ και θα αξιολογηθεί η δυνατότητα να εφαρμοστούν στην περιοχή μελέτης.

3.2 Ερευνητικό Ερώτημα

Το κύριο ερευνητικό ερώτημα είναι να προταθούν λύσεις και τεχνικές για τη συλλογή του νερού μέσω Αειφορικών Συστημάτων Διαχείρισης Ομβρίων και να αξιολογηθεί η δυνατότητα εφαρμογής τους στην πόλη της Λεμεσού. Ιδιαίτερη σημασία θα δοθεί στην πρόταση πρακτικών και τεχνικών οι οποίες να μπορούν να εφαρμοστούν από τις Υπηρεσίες Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

3.3 Σχεδιασμός

Για την ανάλυση των χωρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (GIS) Quantum GIS, το οποίο είναι λογισμικό ανοικτού κώδικα και είναι διαθέσιμο δωρεάν στο διαδίκτυο. Το προβολικό σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε είναι το WGS84. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες που δημιουργήθηκαν από το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων με βάση την Οδηγία Πλαίσιο περί Υδάτων, οι οποίοι εισάχθηκαν στο Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΠΣ) ως

υπόβαθρο. Τα υπόλοιπα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται επίσης ελεύθερα στο διαδίκτυο και καταγράφονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Επίπεδα πληροφορίας που έχουν χρησιμοποιηθεί.

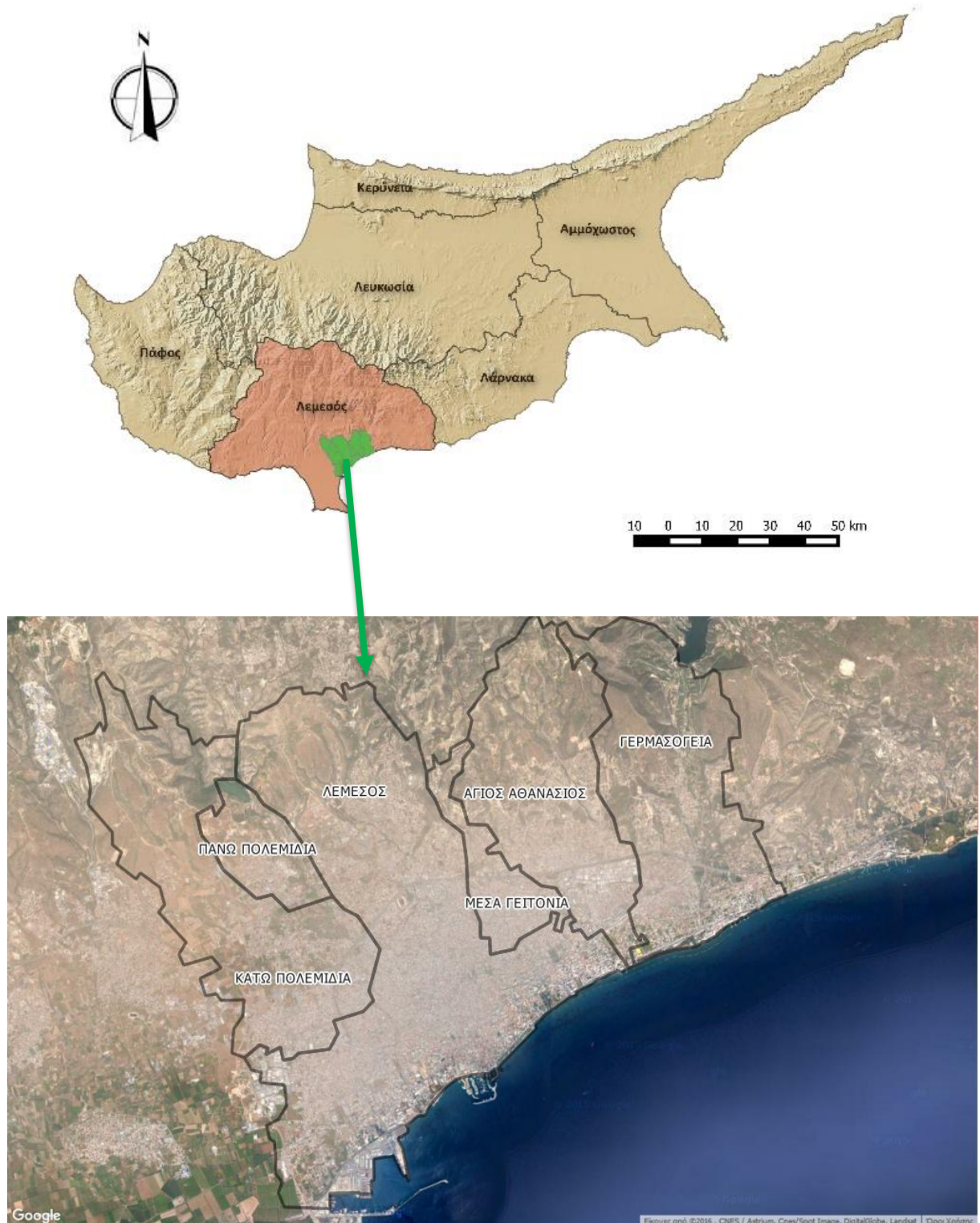
α/α	Όνομασία	Είδος	Τίτλος επιπέδου	Πηγή
1	Όρια επαρχιών	Polygon	Municipalities	Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας
2	Όρια δήμων	Polygon	Districts	Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας
2	Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους	Raster	DEM	Usgs Earth Explorer
3	Οδικό δίκτυο		Open layers	Open layers plugin
4	Ποτάμια	Vector	Watercourse	Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας

3.4 Γενικά Στοιχεία για την Περιοχή Μελέτης

Η Κύπρος βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Μεσογείου. Τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά καθορίζονται από τις δύο μεγάλες οροσειρές, του Τροόδους και του Πενταδάκτυλου. Μεταξύ των δύο αυτών οροσειρών εκτείνονται οι πεδιάδες της Μόρφου και της Μεσαορίας. Παραλιακά και στις κοιλάδες των ποταμών υπάρχουν εύφορες εκτάσεις οι οποίες δημιουργήθηκαν από τις προσχώσεις των ποταμών. Οι ποταμοί της είναι όλοι χείμαρροι, με περιορισμένη ροή, που κατέρχονται ορμητικά το χειμώνα. Οι περισσότεροι από αυτούς πηγάζουν από την οροσειρά του Τροόδους και μόνο ένας αξιόλογος χείμαρρος πηγάζει από την οροσειρά του Πενταδάκτυλου (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

Η Κύπρος αποτελείται από 6 επαρχίες. Στα Νότια παράλια βρίσκεται η επαρχία Λεμεσού, με την πόλη της Λεμεσού να αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κύπρου και τη νοτιότερη της Ευρώπης. Ο πληθυσμός της Λεμεσού ανέρχεται στους 100.952 κατοίκους εντός των δημοτικών ορίων και στους περίπου 180.000 στην ευρύτερη αστική περιοχή

(Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου 2011). Η Λεμεσός έχει επίσης το μεγαλύτερο λιμάνι του νησιού κι ένα από τα μεγαλύτερα της Ανατολικής Μεσογείου. Έχει γνωρίσει αλματώδη ανάπτυξη, ιδίως μετά το 1974, οπότε λόγω της τουρκικής εισβολής χάθηκε το άλλο σημαντικό λιμάνι της Κύπρου, η Αμμόχωστος. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τους πέντε μεγαλύτερους δήμους της Λεμεσού (Πολεμίδα, Λεμεσός, Μέσα Γειτονιά, Αγ. Αθανάσιος και Γερμασόγεια), όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Περιοχή Μελέτης: Λεμεσός, Κύπρος (αριστερά). Με κόκκινο φόντο εμφανίζεται η επαρχία Λεμεσού (επάνω), ενώ κάτω παρουσιάζονται οι κύριοι δήμοι της πόλης της Λεμεσού.

3.5 Κλιματικές Συνθήκες

Η Κύπρος έχει ανατολικό μεσογειακό κλίμα. Το καλοκαίρι είναι ζεστό και ξηρό και συνήθως διαρκεί από το μέσο του Μαΐου έως το μέσο του Σεπτεμβρίου, ενώ ο χειμώνας είναι ήπιος και βροχερός και διαρκεί από το μέσο του Νοεμβρίου ως το μέσο του Μαρτίου (Τμήμα Μετεωρολογίας 2015).

Στη διάρκεια του καλοκαιριού επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και καθαρός ουρανός. Η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή, με μέση τιμή που δεν ξεπερνά το 5% της μέσης ολικής βροχόπτωσης του χρόνου. Στη διάρκεια του χειμώνα, η Κύπρος επηρεάζεται από το συχνό πέρασμα μικρών υφέσεων και μετώπων που κινούνται στη Μεσόγειο με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι καιρικές αυτές διαταραχές διαρκούν συνήθως από μια μέχρι τρεις μέρες κάθε φορά και δίνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βροχής. Η συνολική μέση βροχόπτωση στους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο αντιστοιχεί περίπου στο 60% της βροχόπτωσης ολόκληρου του χρόνου (Τμήμα Μετεωρολογίας 2015).

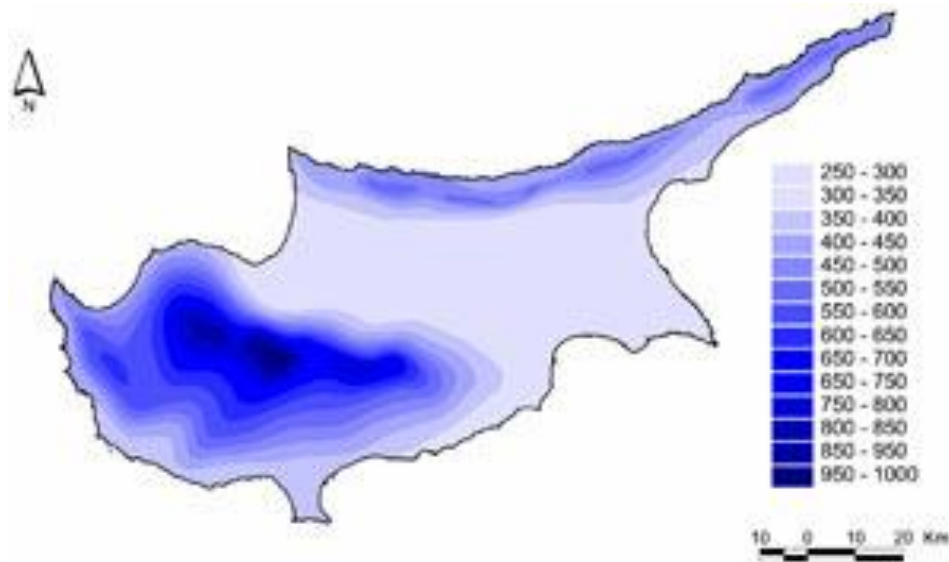
Οι κλιματικές μεταβολές στην Κύπρο όπως καταγράφηκαν τις τελευταίες δεκαετίες, σχετίζονται κυρίως με την αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και τη μείωση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Σύμφωνα με τις προβλέψεις για το κλίμα, οι τάσεις αυτές, σε συνδυασμό με την αύξηση της συχνότητας και έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων, θα συνεχίσουν να παρατηρούνται, προκαλώντας αλυσιδωτές αρνητικές συνέπειες (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015b).

3.6 Υδάτινοι Πόροι

Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι έντονο και για το λόγο αυτό διαγνώστηκε και αντιμετωπίστηκε από νωρίς. Μέχρι και το 1997, η μοναδική πηγή υδατικών πόρων στην Κύπρο, ήταν η βροχόπτωση. Η ποσότητα νερού που αντιστοιχεί στην ολική επιφάνεια της ελεύθερης περιοχής της Κύπρου ανέρχεται στα 2.750 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (ΕΚΜ), αλλά μόνο το 10%, δηλαδή 275 ΕΚΜ προσφέρεται για εκμετάλλευση, αφού τα υπόλοιπα 90% περίπου επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ως απευθείας εξάτμιση και διαπνοή (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

3.6.1 Βροχοπτώσεις

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.2, οι βροχοπτώσεις είναι γεωγραφικά ανομοιόμορφα κατανομημένες. Το μεγαλύτερο ποσοστό πέφτει στους δύο ορεινούς όγκους της Κύπρου και μικρό ποσοστό πέφτει στις ανατολικές πεδινές και παράλιες περιοχές. Επιπρόσθετα, υπάρχει και μεγάλη χρονική διακύμανση, με συχνές συνεχείς ανομβρίες διάρκειας από δύο μέχρι τεσσάρων χρόνων. Η μέση ετήσια ποσότητα των 275 ΕΚΜ νερού κατανέμεται με αναλογία 1:3 σε επιφανειακή αποθήκευση και σε υπόγεια νερά αντίστοιχα. Από την υπόγεια αποθήκευση περίπου το 1/3 ρέει στη θάλασσα (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015)



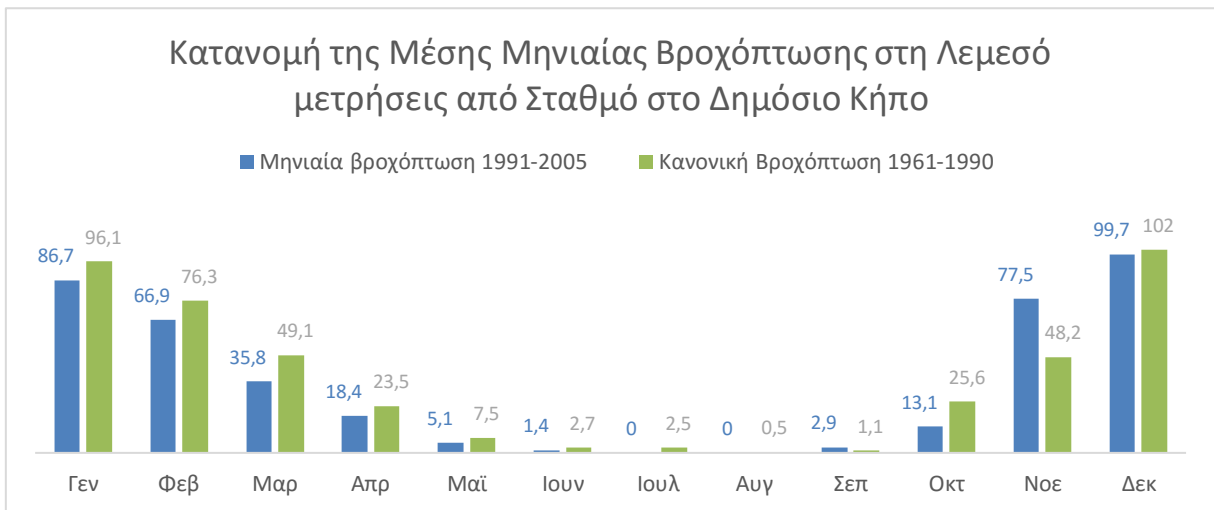
Εικόνα 3.2: Κατανομή της βροχόπτωσης στην Κύπρο. Πηγή (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

Υδρογραφικά, το νησί της Κύπρου είναι υποδιαιρεμένο σε 9 υδρολογικές περιοχές. Η Λεμεσός ανήκει στη ζώνη 9 (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Υδρολογικές περιοχές της Κύπρου. Πηγή (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

Στο Γράφημα 3.1 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη Λεμεσό, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια των περιόδων 1961 – 1990 και 1991 – 2005. Παρατηρείται ότι η μέση βροχόπτωση της πιο πρόσφατης περιόδου είναι χαμηλότερη από τη μέση βροχόπτωση της παλαιότερης περιόδου, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του διαθέσιμου νερού. Η μέση ετήσια βροχόπτωση υπολογίζεται σε 407,5 mm για την περίοδο 1991 – 2005, έναντι των 435,1 mm που καταγράφηκαν κατά την περίοδο 1961 – 1990. Η ποσότητα νερού που αντιστοιχεί στην ολική επιφάνεια της ελεύθερης περιοχής της Κύπρου ανέρχεται στα 2.750 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (ΕΚΜ), αλλά μόνο το 10%, δηλαδή 275 ΕΚΜ προσφέρεται για εκμετάλλευση, αφού τα υπόλοιπα 90% περίπου επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ως απευθείας εξάτμιση και διαπνοή (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).



Γράφημα 3.1: Κατανομή της βροχόπτωσης για τις Περιόδους 1961-1990 και 1991-2005 στη Λεμεσό, σύμφωνα με μετρήσεις που λήφθηκαν στον σταθμό του Δημόσιου Κήπου. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 435,1 mm για την Περίοδο 1961-1990 και σε 407,5 mm για την Περίοδο 1991-2005. Πηγή (Τμήμα Μετεωρολογίας 2015).

Επίσης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, παρατηρείται ότι κατά τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο η συνολική μέση βροχόπτωση αντιστοιχεί περίπου στο 62% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης.

3.6.2 Καμπύλες Βροχόπτωσης

Σύμφωνα με τη σειρά μετεωρολογικών σημειωμάτων αρ. 15 του Τμήματος Μετεωρολογίας Κύπρου, έχουν καταρτιστεί οι όμβριες καμπύλες για την Κύπρο. Η γενική τους εξίσωση είναι η Εξίσωση 3.1 (Γαλιούνα 2011).

$$i = \frac{\lambda * \psi + \frac{\lambda}{\kappa} \left[\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-\kappa} - 1 \right]}{(d + \theta)^n} \quad \text{Εξίσωση 3.1}$$

Όπου:	i	είναι η ένταση βροχόπτωσης σε mm/h
	d	είναι η διάρκεια της βροχής σε h
	T	είναι η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης σε έτη
	$\lambda, \psi, \kappa, \theta, n$	είναι συντελεστές από προσαρμογή κατανομής στο δείγμα. Για τη Λεμεσό οι τιμές τους είναι οι εξής:
	$\lambda = 5,41$	$\psi = 2,96$ $\kappa = 0,20$ $\theta = 0,060$ $n = 0,770$

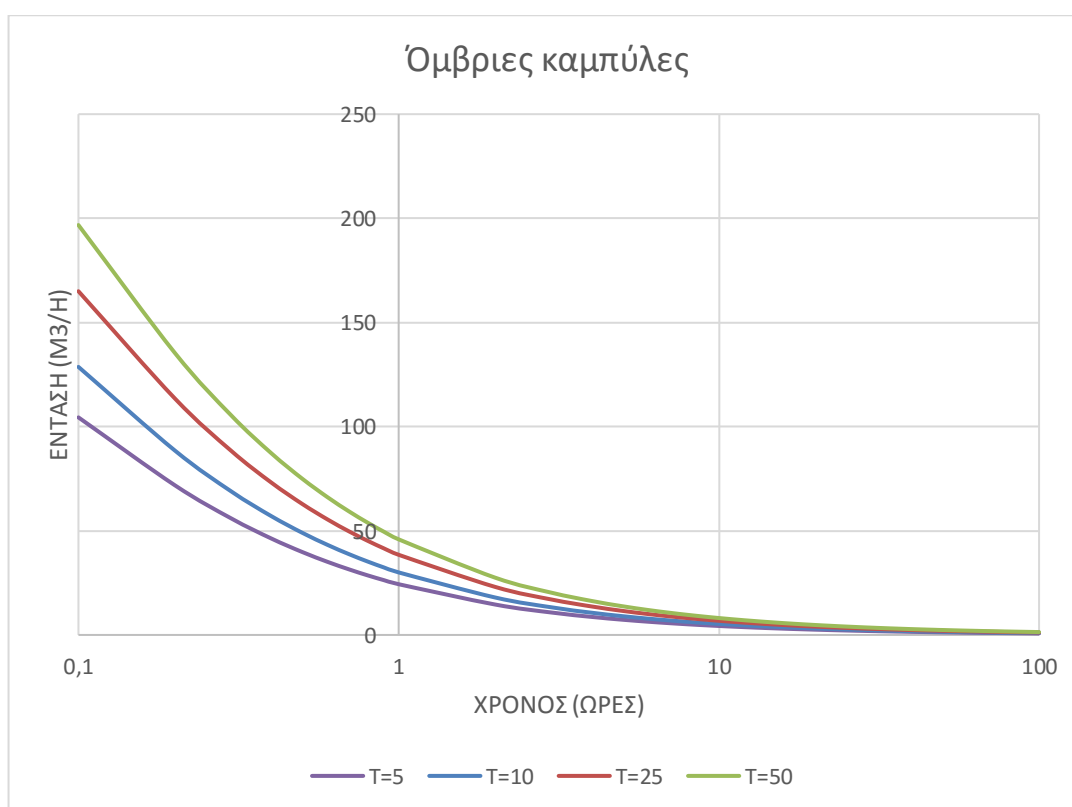
έτσι, για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς έχουμε τις εξής εξισώσεις, με βάση τις οποίες προκύπτει το Γράφημα 3.2:

Για T=5 έτη
$$i = \frac{25,47}{(d + 0,06)^{0,77}}$$
 Εξίσωση 3.2

Για T=10 έτη
$$i = \frac{31,38}{(d + 0,06)^{0,77}}$$
 Εξίσωση 3.3

Για T=25 έτη
$$i = \frac{40,24}{(d + 0,06)^{0,77}}$$
 Εξίσωση 3.4

Για T=50 έτη
$$i = \frac{47,99}{(d + 0,06)^{0,77}}$$
 Εξίσωση 3.5



Γράφημα 3.2: Οι όμβριες καμπύλες στην Κύπρο.

Η κατάρτιση των καμπύλων βροχόπτωσης είναι απαραίτητο εργαλείο για τη διαστασιολόγηση των ΑΣΔΟ.

3.6.3 Υδατικό Ισοζύγιο

Η εμφάνιση παρατεταμένων περιόδων ανομβρίας αποτελεί συχνό φαινόμενο για την Κύπρο. Για το λόγο αυτό, επιβάλλεται η ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η κάλυψη των βασικών αναγκών κατά τη διάρκεια των περιόδων αυτών. Δυστυχώς η πρακτική της υπεράντλησης των υπόγειων υδάτων από παράνομες και ανεξέλεγκτες αντλήσεις έχει προκαλέσει σε πολλές περιπτώσεις τη μόνιμη και μη αναστρέψιμη εξάντληση των υπόγειων υδροφόρων και την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφορέων (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015). Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται το υδατικό ισοζύγιο κατά τα έτη 2010-2013. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, κατά το 2013 παρουσιάστηκαν σοβαρές ελλείψεις νερού λόγω της ανομβρίας.

Πίνακας 3.2: Υπολογισμός Ετήσιου Υδατικού Ισοζυγίου για τις ελεύθερες περιοχές της Κύπρου (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

	2010	2011	2012	2013
Βροχόπτωση (mm)	429	558	790	295
Όγκος Βροχής (ΕΚΜ)	2570	3348	4737	1770
Διαθέσιμη ποσότητα νερού από βροχόπτωση (ΕΚΜ)	197	265	404	117
Σημ.: περίπου το 90% της βροχόπτωσης χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής και περίπου το 0,02% από υπόγεια απορροή προς τη θάλασσα				
Ποσότητα αφαλατωμένου νερού (ΕΚΜ)	53	49	18	11
Ποσότητα ανακυκλωμένου νερού (ΕΚΜ)	12	14	17	17
Ολική διαθέσιμη ποσότητα νερού(ΕΚΜ)	262	328	438	145
Ζήτηση νερού(ΕΚΜ)	257	258	259	260
Ισοζύγιο νερού(ΕΚΜ)	5	70	179	-115
Ποσότητα νερού που διατέθηκε στην ύδρευση(ΕΚΜ)	82	81	80	75

ΕΚΜ: Εκατομμύρια κυβικά μέτρα

3.6.4 Υδάτινα Σώματα

Τα υδάτινα σώματα της Κύπρου είναι οι λίμνες (τεχνητές και μη), τα υπόγεια υδάτινα σώματα και τα ποτάμια.

3.6.4.1 Ποταμοί

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι περισσότεροι ποταμοί της Κύπρου πηγάζουν από την περιοχή του Τροόδους. Ως αποτέλεσμα του ανατολικού μεσογειακού κλίματος, η κατανομή της επιφανειακής απορροής των ποταμών ακολουθεί την εποχιακή κατανομή των κατακρημνισμάτων και για τον λόγο αυτό δεν υπάρχουν ποταμοί με συνεχή ροή σε όλο τους το μήκος. Οι περισσότεροι ποταμοί ρέουν για 3 με 4 μήνες το χρόνο και στερεύουν για το υπόλοιπο έτος (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015). Στην περιοχή μελέτης βρίσκονται ποταμοί με περιστασιακή ροή, κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά από βροχόπτωση.

3.6.4.2 Λίμνες

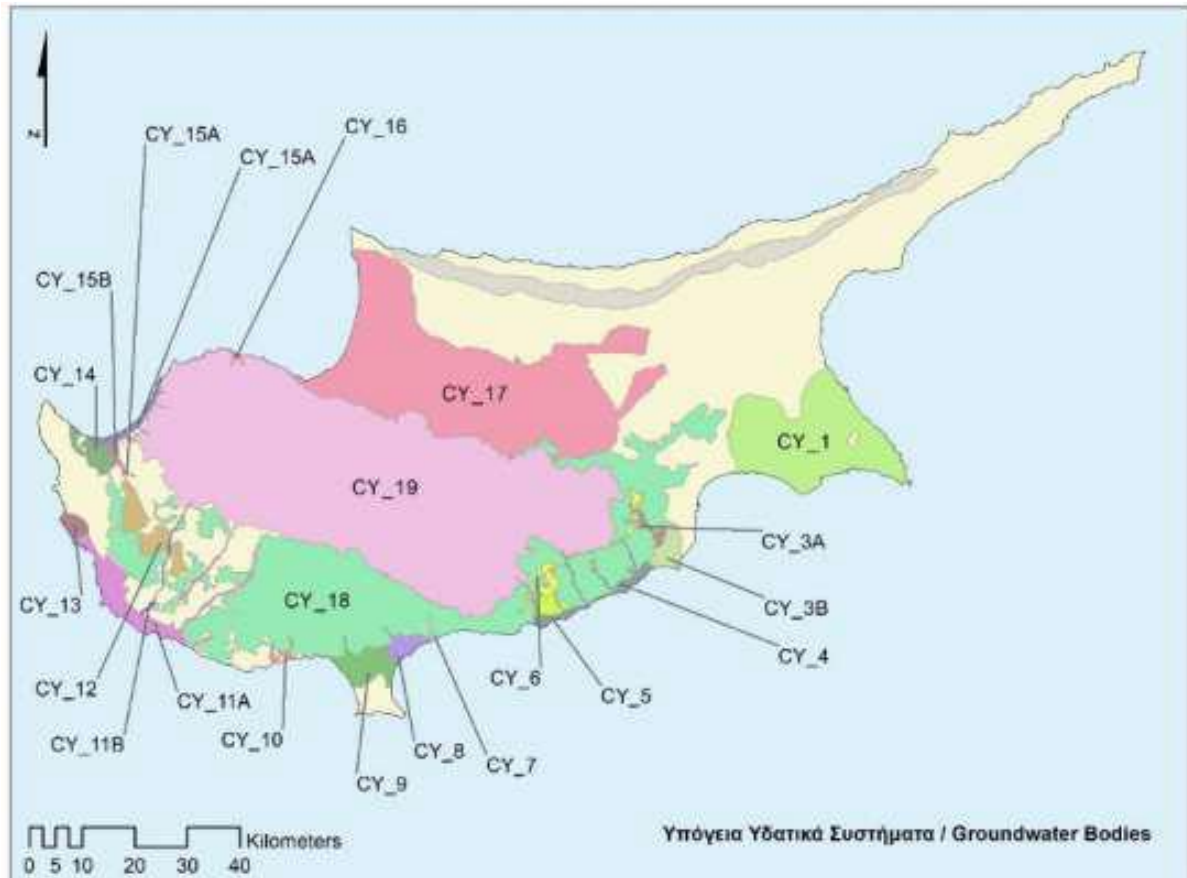
Οι βασικές λίμνες της Κύπρου είναι η αλυκή της Λάρνακας και η αλυκή της Λεμεσού. Η Αλυκή της Λεμεσού είναι η μεγαλύτερη λίμνη της Κύπρου, με έκταση περίπου 940 εκτάρια. Η αλυκή σχηματίστηκε εκατομμύρια χρόνια πριν. Το νότιο άκρο της χερσονήσου Ακρωτηρίου αποτελούσε ένα μικρό ξεχωριστό νησί, το οποίο ενώθηκε με την υπόλοιπη Κύπρο καθώς σταδιακά γίνονταν προσχώσεις από τους χείμαρρους του Κούρη και του Γαρύλλη. Σήμερα είναι μία φυσική κοιλότητα με το χαμηλότερό της σημείο να βρίσκεται περίπου 2,7 μέτρα κάτω από το επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας, όπου μπορεί να συγκεντρωθεί μέχρι και 1 μέτρο νερό. Σημειώνεται ότι η μισή περίπου έκτασή της καλύπτεται από νερό βάθους κάτω από 30 εκατοστά, γεγονός που δημιουργεί ιδανικές συνθήκες για τη διατροφή των διαφόρων υδρόβιων πουλιών (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

Η αλυκή είναι καλυμμένη με υφάλμυρο νερό από τις αρχές Δεκεμβρίου μέχρι και τα τέλη Ιουλίου, οπότε και αρχίζει να ξεραίνεται. Εμπλουτίζεται με φρέσκο νερό από τις ετήσιες βροχοπτώσεις, από τις διοχετεύσεις νερού των παρακείμενων ελών του Φασουρίου, από τις απορροές νερού των γύρω περιοχών, καθώς και από το θαλασσινό νερό κατά τη διάρκεια καταιγίδων (Καϊλής 2005).

3.6.4.3 Υπόγεια υδατικά σώματα (ΥΥΣ)

Όλοι οι υδροφορείς της Κύπρου (66 στο σύνολο) ομαδοποιήθηκαν από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, σε 22 Συστήματα Υπόγειων Υδάτων, με βάση τη λιθολογία, τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, τις πιέσεις και τη χρήση του κάθε υδροφορέα, κατά την

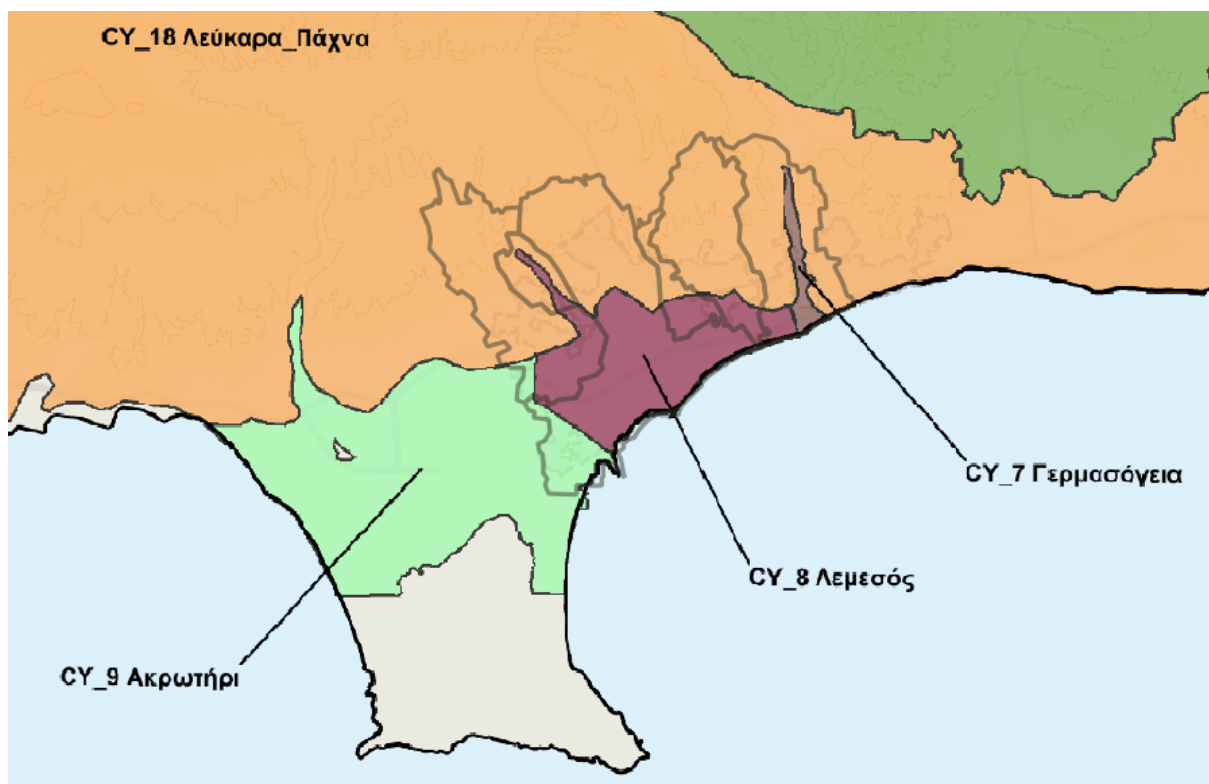
εκπόνηση του 1ου Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ). Στα πλαίσια εκπόνησης του 2ου ΣΔΛΑΠ πραγματοποιήθηκε η επανεξέταση των Υπόγειων Υδάτινων Σωμάτων (ΥΥΣ) και προέκυψαν 21 ΥΥΣ σε όλη την Κύπρο, τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.4 (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015b).



Εικόνα 3.4: Υπόγεια υδατικά σώματα της Κύπρου. Πηγή (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).

Η περιοχή μελέτης, ανήκει σε τέσσερεις υπόγειους υδροφορείς (Εικόνα 3.5). Το CY_7 Γερμασόγεια, το CY_8 Λεμεσός, το CY_9 Ακρωτήριο και το CY_18 Λεύκαρα – Πάχνα (Εικόνα 3.5). Τα παράκτια τμήματα αυτών των υδροφορέων συνίστανται από άμμο, ιλύ, ασβεστόλιθους, κροκαλοπαγή πετρώματα και άργιλο. Οι κοίτες των ποταμών

αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις, κροκάλες, άμμο και ιλύ. Αυτοί οι υδροφορείς είναι φρεάτιοι και έχουν βάθος γύρω στα 30 m (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2015).

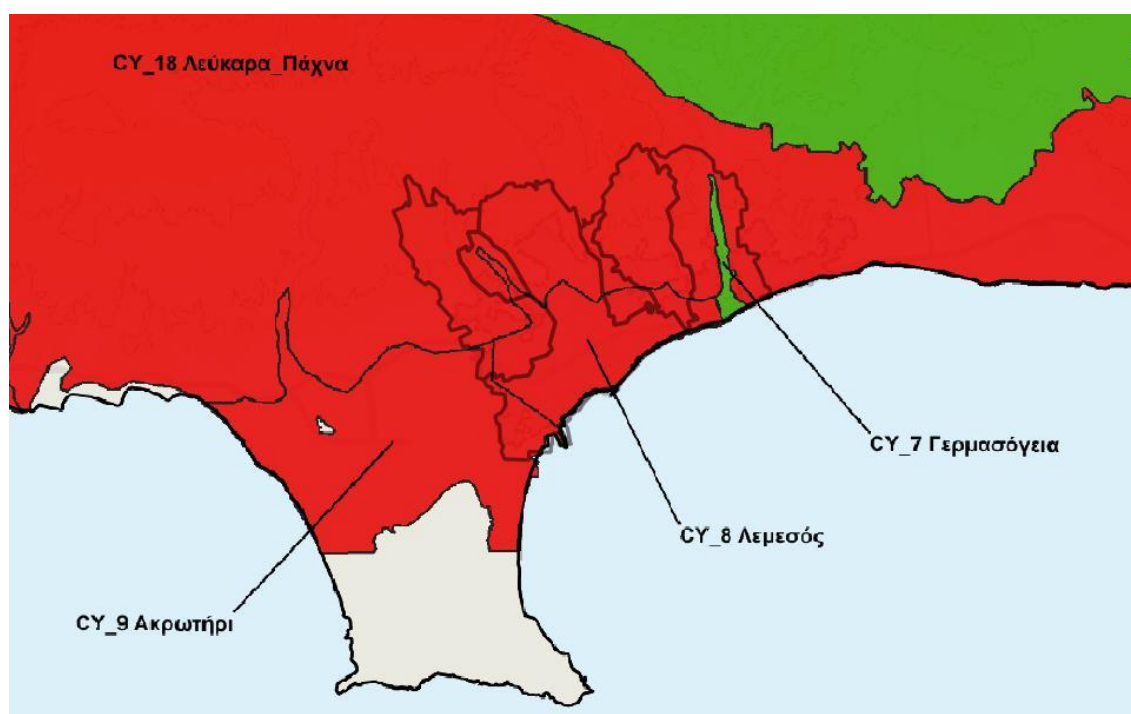


Εικόνα 3.5: Υπόγεια υδατικά σώματα στην περιοχή μελέτης. Απόσπασμα από (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).

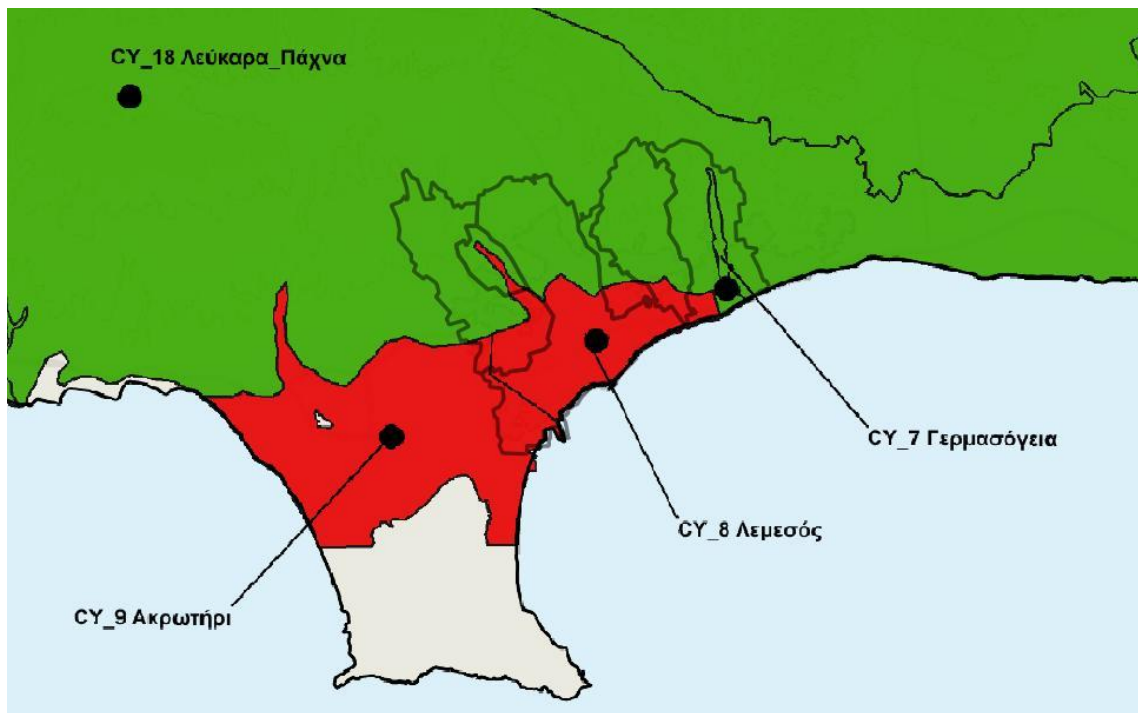
Σύμφωνα με την αξιολόγηση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης των υδροφορέων που έγινε για το δεύτερο Διαχειριστικό Κύκλο της Οδηγίας Πλαίσιο περί Υδάτων (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2007) από τους ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. και ECOS Μελετητική Α.Ε. (2015a), η ποιοτική κατάσταση των τριών χαρακτηρίζεται ως κακή. Μόνο το CY-7 Γερμασόγεια είναι σε καλή κατάσταση (Πίνακας 3.3, Εικόνες 3.6 και 3.7).

**Πίνακας 3.3: Ποιοτική και Ποσοτική κατάσταση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων.
 Πηγή (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε.
 2015a)**

α/α	Σύστημα Υπογείων υδάτων	Ονομασία	Ποσοτική Κατάσταση	Ποιοτική κατάσταση	Συνολική κατάσταση
1	CY-7	Γερμασόγεια	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
2	CY-8	Λεμεσός	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
3	CY-9	Ακρωτήριο	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
4	CY-18	Λεύκαρα - Πάχνα	ΚΑΚΗ	ΚΑΛΗ	ΚΑΚΗ



**Εικόνα 3.6: : Ποιοτική Κατάσταση των ΣΥΥ της περιοχής μελέτης κατά την εξαετία
 2008 - 2013. Απόσπασμα από (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε.
 & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).**

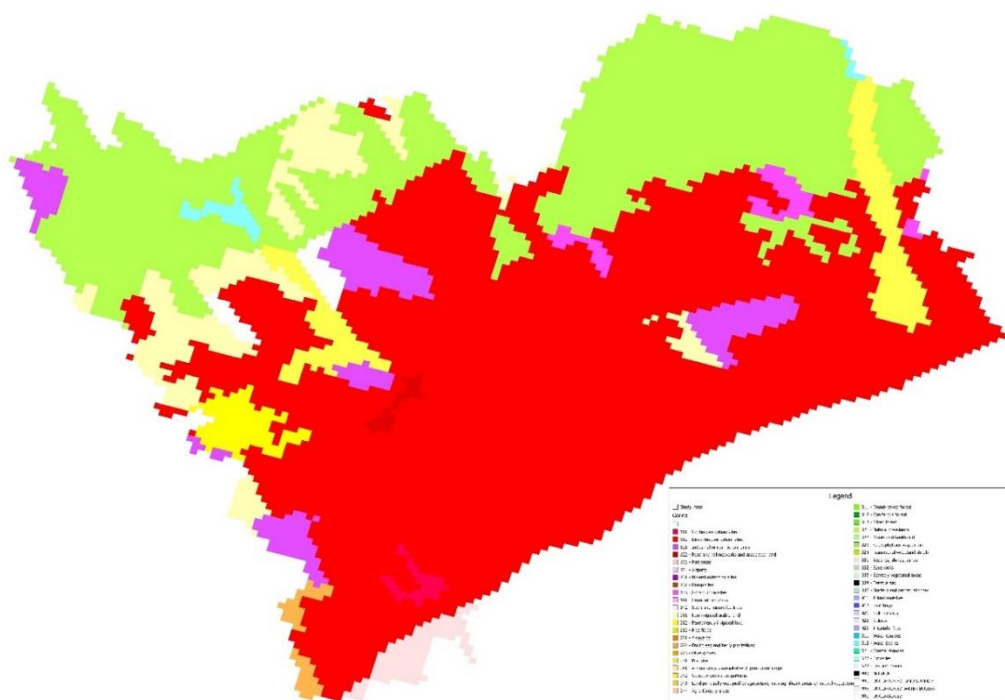


Εικόνα 3.7: Ποσοτική Κατάσταση των ΣΥΥ της περιοχής μελέτης κατά την εξαετία 2008 - 2013. Πηγή (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a).

3.7 Κάλυψη Εδάφους

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος έχει αναπτύξει μια χωρική βάση για την κάλυψη γης, η οποία καλείται CORINE (Copernicus Land Monitoring Services 2016). Η βάση αυτή αναπτύχθηκε μέσω του προγράμματος "Συντονισμός Πληροφοριών για το Περιβάλλον (Coordination of Information on the Environment)", και θεσπίστηκε το 1985, πριν ακόμα και από την ίδρυση του οργανισμού αυτού. Το 1990 εκδόθηκαν οι πρώτοι θεματικοί χάρτες καλύψεων και χρήσεων γης, οι οποίοι προέκυψαν από την οπτική ερμηνεία δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης. Οι θεματικοί χάρτες παράχθηκαν από την οπτική ερμηνεία δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης του θεματικού χαρτογράφου Landsat-TM και του SPOT-XS. Η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης ορίστηκε στα 25 ha (0,25 km²) και το ελάχιστο πλάτος στα 100m. Πλέον, έχουν εκδοθεί χάρτες για τα έτη 1990, 2000, 2006 και 2012 και οι οποίοι αφορούν 26, 30, 38 και 39 χώρες αντίστοιχα (Copernicus Land Monitoring Services 2016).

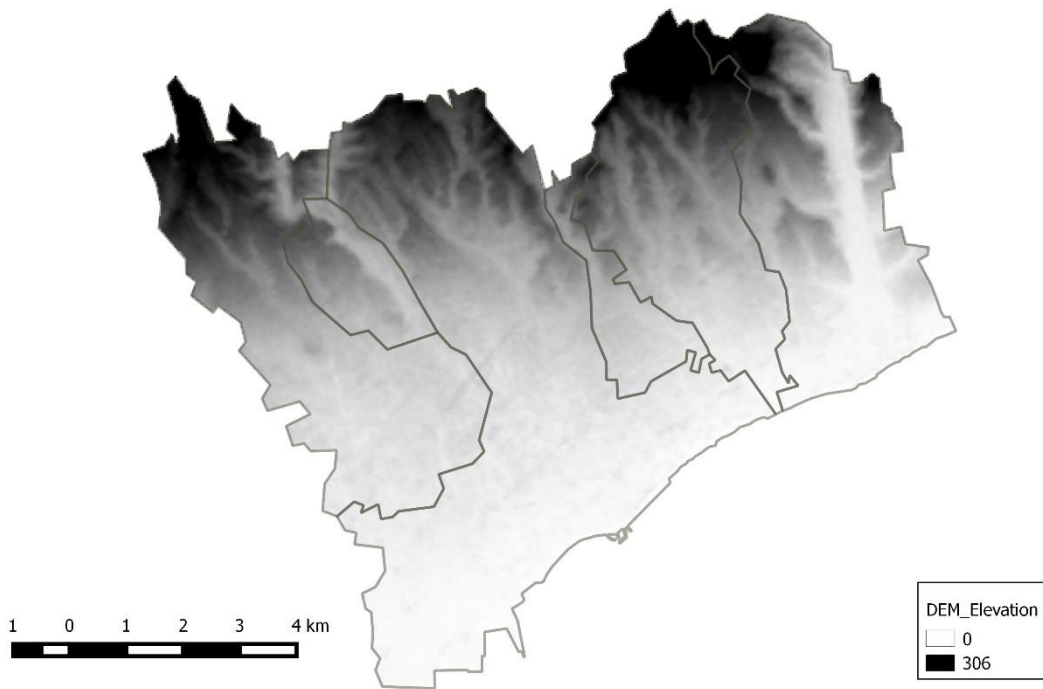
Η περιοχή μελέτης, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 3.8, αποτελείται κατά το μεγαλύτερο βαθμό από αστικοποιημένες περιοχές.



Εικόνα 3.8: Κάλυψη του εδάφους στην περιοχή μελέτης, όπως προκύπτει από το CORINE.

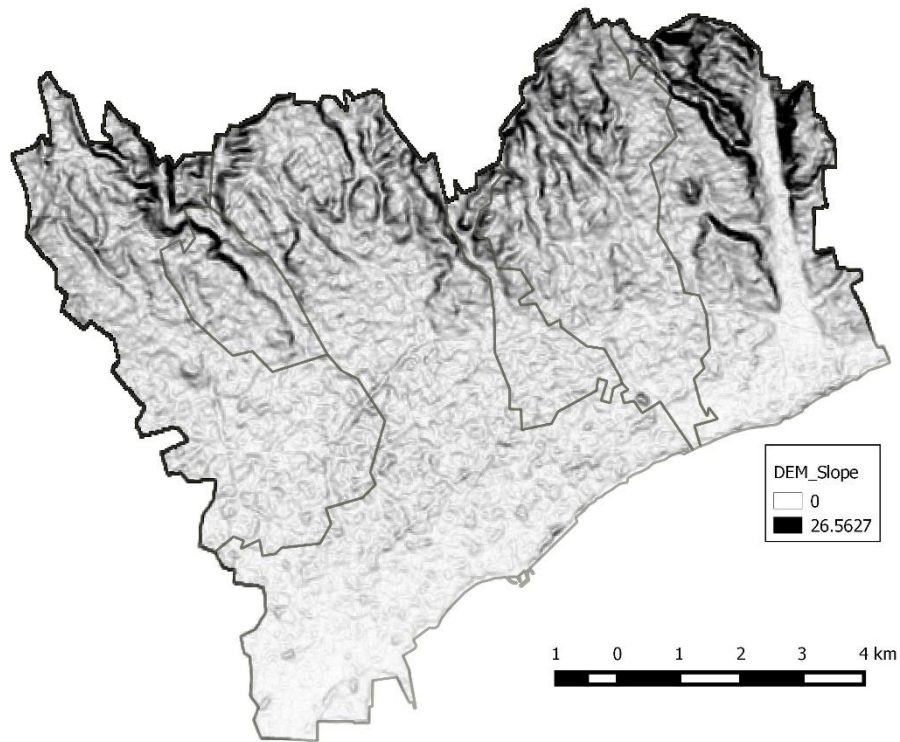
3.8 Μορφολογία του Εδάφους

Μετά από κοινή προσπάθεια της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (ΝΑΣΑ) και της Εθνικής Υπηρεσίας Τηλεπισκόπησης και Χαρτογραφίσεων (National Imagery and Mapping Agency – NIMA) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, έγινε δυνατή η σύνθεση του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου Εδάφους (ΨΥΜΕ) για περίπου το 80% της επιφάνειας της γης (USGS 2008). Στην Εικόνα 3.9 παρουσιάζεται το ΨΥΜΕ της περιοχής μελέτης, το οποίο ανακτήθηκε από τις δορυφορικές εικόνες με κωδικούς ASTGTM2_N34E032 και ASTGTM2_N34E033 και έχει μέγεθος εικονοστοιχείων 30m. Οι εικόνες αυτές ενώθηκαν μεταξύ τους και στη συνέχεια αποκόπηκε η περιοχή ενδιαφέροντος. Διαπιστώθηκε έτσι, ότι τα υψόμετρα της περιοχής μελέτη ποικίλλουν από 0 έως 306 m.



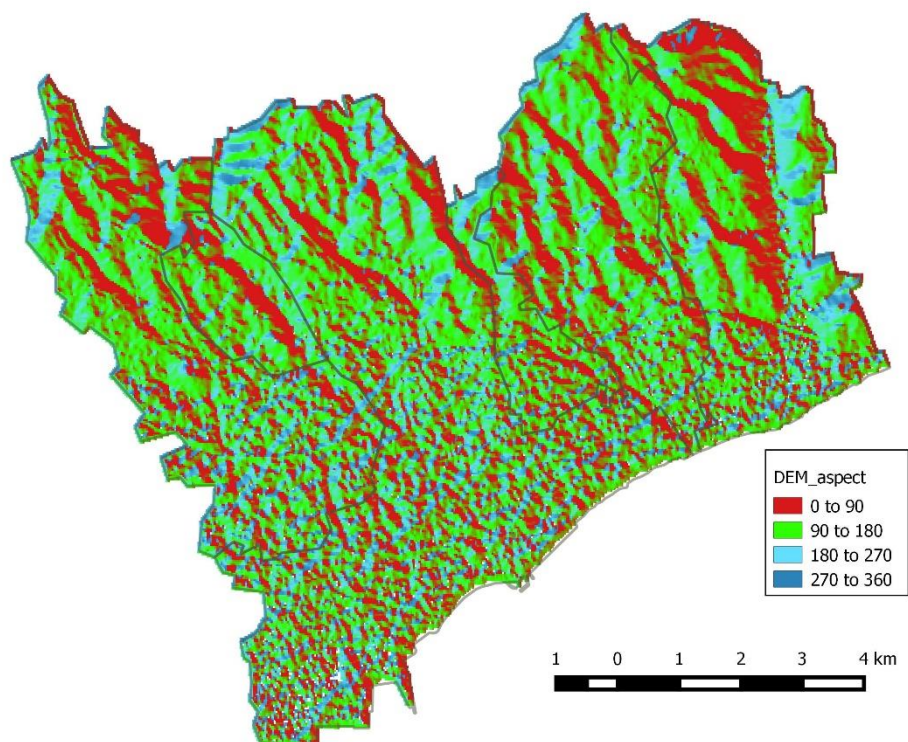
Εικόνα 3.9: Το ΨΥΜΕ της περιοχής μελέτης. Όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο, τόσο πιο λευκή φαίνεται η απεικόνιση.

Από τη μορφολογία του εδάφους μπορούμε να εξάγουμε διάφορα στοιχεία που αφορούν την απορροή της βροχής, όπως είναι η διεύθυνση και η ταχύτητα της. Έτσι, ακολουθώντας μεθόδους από τη διεθνή βιβλιογραφία (Singh et al. 2014), γίνεται υδρογραφική ανάλυση της περιοχής μελέτης. Η κλίση του εδάφους σχετίζεται με την ταχύτητα της απορροής. Από το χάρτη κλίσεων στην Εικόνα 3.10 παρατηρούμε ότι η μέγιστη κλίση της περιοχής μελέτης είναι περίπου 26,5%.



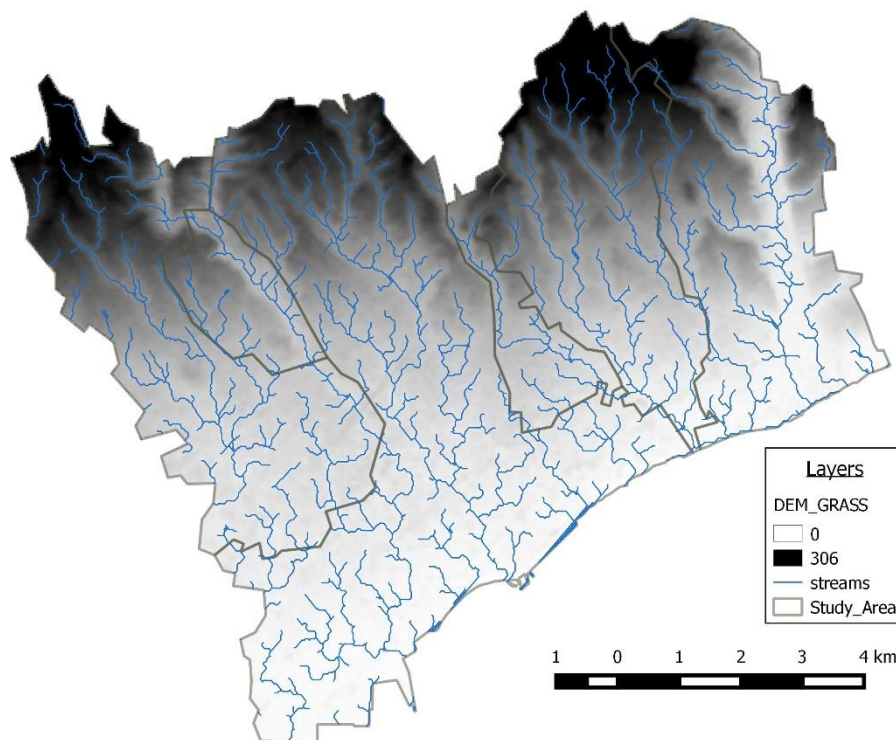
Εικόνα 3.10: Χάρτης κλίσεων εδάφους. Οι πιο σκούρες περιοχές έχουν μεγαλύτερη κλίση.

Από τη διεύθυνση της κλίσης (aspect) μπορούμε να παρατηρήσουμε την διεύθυνση της απορροής. Έτσι, εξάγουμε τον αντίστοιχο χάρτη ο οποίος παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.11.



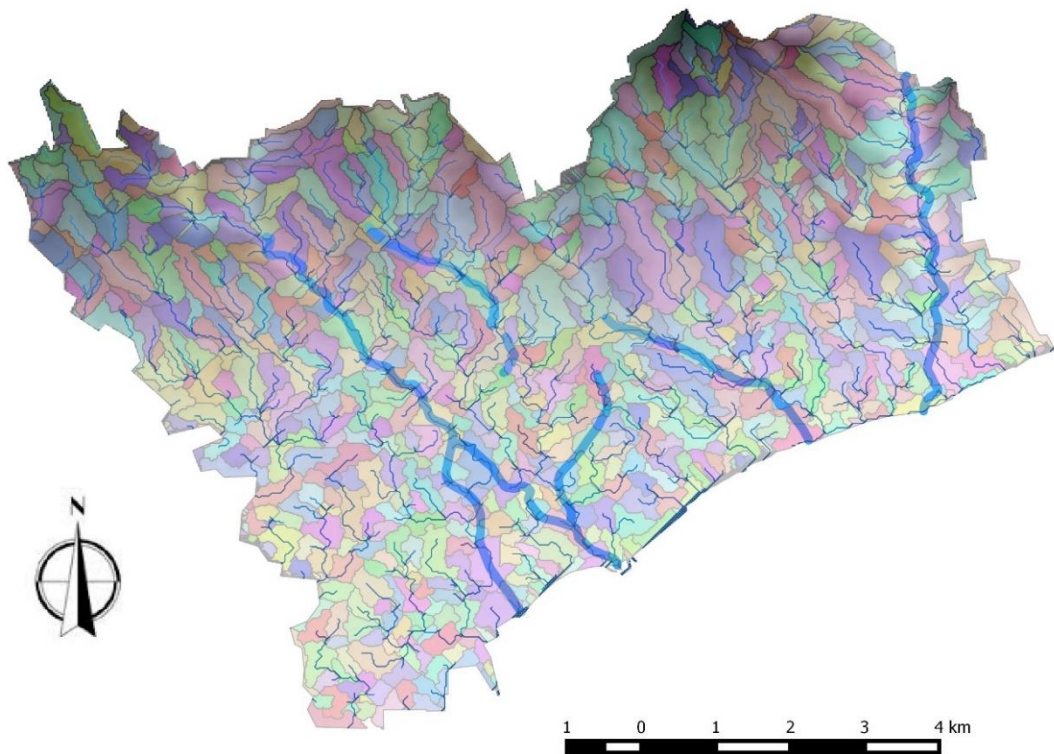
Εικόνα 3.11: Χάρτης διεύθυνσης της κλίσης.

Στη συνέχεια θα γίνει προσομοίωση της ροής. Θεωρείται ότι σε κάθε σημείο του ΨΥΜΕ πέφτει μια σταγόνα, η οποία μεταβαίνει σε παρακείμενο εικονοστοιχείο και ακολουθεί την πορεία της κλίσης. Από την προσομοίωση της ροής είναι δυνατός ο εντοπισμός του υδρογραφικού δικτύου, ο οποίος παρουσιάζεται με τη μορφή δυαδικού συστήματος, όπου με μηδέν.



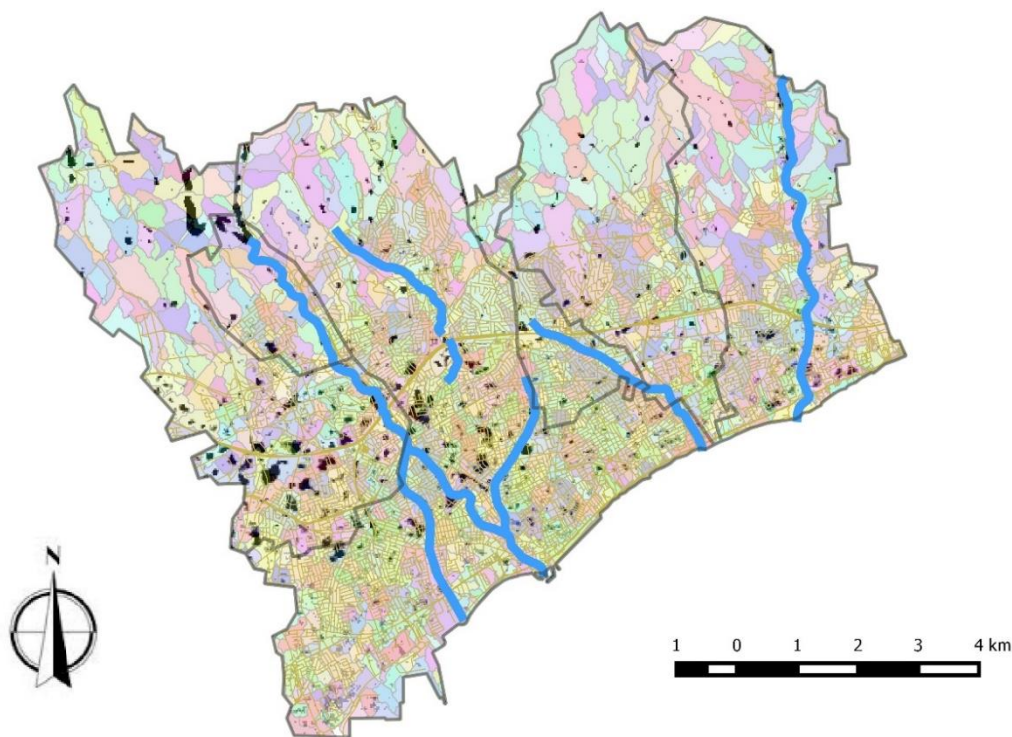
Εικόνα 3.12: Υδρογραφικό δίκτυο.

Αρκετά συχνά δημιουργούνται περιοχές στις οποίες η ροή παγιδεύεται, σε βυθίσματα (κοιλότητες) του εδάφους. Έτσι, θα γίνει επεξεργασία του ΨΥΜΕ ώστε να γίνει η υπερχείλιση των κοιλοτήτων αυτών. Έτσι, αφαιρώντας τα δύο ΨΥΜΕ, μπορούν να εντοπιστούν αυτές οι περιοχές. Στη συνέχεια θα δούμε τις περιοχές αυτές, στις οποίες είναι πιθανή η συγκέντρωση νερού λόγω της μορφολογίας.



Εικόνα 3.13: Λεκάνες απορροής και υδρογραφικό δίκτυο (λεπτές μπλε γραμμές). Οι παχιές μπλε γραμμές εικονίζουν τα ποτάμια.

Από το ΨΥΜΕ υπολογίστηκαν τα βυθίσματα του εδάφους, τα οποία δημιουργούν περιοχές με μεγαλύτερη πιθανότητα πλημμύρας. Στις περιοχές αυτές είναι πιο εύκολη η κατασκευή ΑΣΔΟ διότι από άποψη μορφολογίας εδάφους, το νερό συγκεντρώνεται προς αυτές τις τοπικές κοιλότητες του εδάφους.



Εικόνα 3.14: Οι περιοχές με βυθίσματα του εδάφους φαίνονται με τόνους του γκρι. Όπου το χρώμα είναι πιο ανοιχτό το βάθος είναι μικρότερο.

Μελετώντας τα αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι έχουν επισημανθεί περιοχές στις οποίες παρατηρούνται πλημμυρικά φαινόμενα μικρού ή μεγάλου βαθμού. Σημειώνεται ότι υπάρχει κάποια απόκλιση στα αποτελέσματα, κυρίως λόγω της ανάλυσης του ΨΥΜΕ, καθώς υπάρχουν περιοχές οι οποίες από την εμπειρία μας γνωρίζουμε ότι εμφανίζουν πλημμυρικά φαινόμενα και δεν έχουν προσδιοριστεί. Πιο κάτω παρουσιάζονται μερικές περιοχές που έχουν επισημανθεί.



Εικόνα 3.15: Λεωφόρος Αγίας Φυλάξεως από τη Λεωφόρο Σπύρου Κυπριανού έως τον Κυκλικό Κόμβο Αγίας Φύλας. Παρατηρούμε ότι επισημαίνονται αρκετές περιοχές, συμπεριλαμβανομένου του Τσιρείου σταδίου και του χώρου βόρεια, όπου προγραμματίζεται η κατασκευή λίμνης κατακράτησης.



Εικόνα 3.16: Περιοχή Δυτικά του Τσιρείου στάδιου .



Εικόνα 3.17: Στην περιοχή αυτή δημιουργούνται συχνές πλημμύρες. Επίσης επισημαίνεται στα αριστερά τμήμα της κοίτης του Γαρούλλι.

3.9 Διαχείριση των Ομβρίων στην Περιοχή Μελέτης

Στη Λεμεσό οι τοπικοί φορείς έχουν συντονιστεί ώστε να εφαρμόζουν κοινή πολιτική για τη προώθηση των αιεφορικών συστημάτων διαχείρισης ομβρίων υδάτων. Στο πλαίσιο αυτό, προωθούνται μεταξύ άλλων η υλοποίηση των ΑΣΔΟ όπως είναι οι λίμνες κατακράτησης, η αποφυγή της σφράγισης του εδάφους και η εφαρμογή πολιτικών που να αποτρέπουν στις αναπτύξεις να διοχετεύουν όμβρια νερά στους δρόμους (ΣΑΛΑ 2009) μέσω της διατήρησης των απορροφητικών λάκκων λυμάτων και της μετατροπής τους σε δεξαμενές κατακράτησης ομβρίων, όταν κάθε ιδιοκτησία συνδέεται με το διαρκώς επεκτεινόμενο δίκτυο λυμάτων της πόλης, αλλά και στην απαίτηση της κατασκευής απορροφητικών δεξαμενών ομβρίων όγκου 10 m³ ανά ιδιοκτησία 800 m² σε νέες περιοχές,. (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015b).

Κεφάλαιο 4

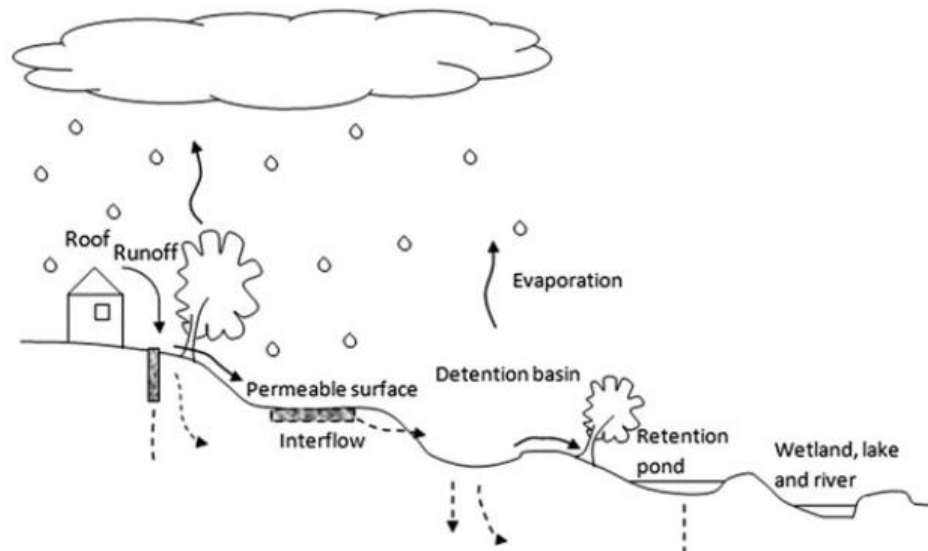
Τεχνικές Αειφορικής

Διαχείρισης Ομβρίων Υδάτων

Ένα σημαντικό μέρος της αειφορικής διαχείρισης των επιφανειακών υδάτων είναι η διαχείριση του νερού στην πηγή, δηλαδή στην περιοχή που αυτό πέφτει. Αυτό περιλαμβάνει την επιβολή μέτρων πρόληψης, τα οποία μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της απορροής. Τα μέτρα αυτά σύμφωνα με τον Yao (2013, p.124), περιλαμβάνουν:

- Την ελαχιστοποίηση των καλυμμένων επιφανειών ώστε να επιτραπεί στην απορροή του επιφανειακού νερού να μεταβεί στο υπέδαφος φυσικά, μέσω επιφανειών διαπερατών από το νερό, όπως είναι οι κήποι και οι δημόσιοι χώροι πρασίνου ή άλλα πορώδη υλικά, όπως είναι η διαπερατή ασφαλτος.
- Τη χρήση διαπερατών υλικών όπου είναι δυνατό
- Την ανακύκλωση των όμβριων υδάτων με τη συλλογή του νερού από τις στέγες και τη χρήση του για μη πόσιμες χρήσεις όπως π.χ. για το καζανάκι των αποχωρητηρίων και την άρδευση των κήπων.
- Την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης μέσω της εφαρμογής ορθών πρακτικών, της εκπαίδευσης και της ενημέρωσης των χρηστών για τον τρόπο λειτουργίας των αποχετευτικών συστημάτων και των τεχνικών για τη σωστή συντήρησή τους.

Η βασική φιλοσοφία των ΑΣΔΟ παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1, στην οποία φαίνεται ότι με τη χρήση των συστημάτων αυτών, το νερό μιμείται τον υδρολογικό κύκλο του νερού πριν την ανάπτυξη της περιοχής.



Εικόνα 4.1: Η φιλοσοφία των ΑΣΔΟ και ο υδρολογικός τους κύκλος. Πηγή (Yu 2013).

Το νερό μέσω διαφορετικών ΑΣΔΟ, διηθείται στο έδαφος κατά τη διάρκεια της πορείας του προς τον κατάντη αποδέκτη ενώ κατά την πορεία του ένα ποσοστό εξατμίζεται. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν οι κυριότερες τεχνικές ΑΣΔΟ, ενώ στο Παράρτημα Γ παρουσιάζονται τα βασικά οφέλη τους συνοπτικά.

Οι διάφορες τεχνικές που είναι διαθέσιμες έχουν διαφορετικές ικανότητες μείωσης των ρυπογόνων παραγόντων και της ποσότητας της απορροής. Στοιχεία όπως ο βαθμός αστικοποίησης της περιοχής όπου θα εφαρμοστούν, το κλίμα και η κατάσταση του εδάφους παίζουν καίριο ρόλο στην επιλογή της πιο κατάλληλης τεχνικής για κάθε περιοχή.

4.1 Συλλογή και Επαναχρησιμοποίηση Βρόχινου Νερού (rainwater harvesting)

Όπως αναφέρθηκε και στην ιστορική αναδρομή, η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση του βρόχινου νερού (RWH) χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια, ακόμα και από αρχαίους πολιτισμούς.

Ακόμα και στα πιο πρόσφατα έτη, η μέθοδος αυτή της συλλογής των νερών της βροχής, συνεχίστηκε σε περιοχές με περιορισμένους υδατικούς πόρους, όπως είναι τα νησιά του

Αιγαίου. Η συλλογή του νερού της βροχής ήταν η κύρια λύση για την κάλυψη των αναγκών όπου δεν χρειαζόταν το νερό να είναι πόσιμο, παρότι η ποιότητα του νερού στις περιοχές εκείνες ήταν αρκετά καλή, καθώς δεν υπήρχε ατμοσφαιρική ρύπανση και συνεπώς οι μόνοι ρυπαντές του νερού ήταν η σκόνη. Το νερό συλλεγόταν από τις στέγες των σπιτιών και αποθηκευόταν σε υπόγειες ή υπέργειες δεξαμενές, ενώ λαμβάνονταν μέτρα για την αποφυγή της συλλογής των πρώτων νερών της βροχής τα οποία είναι και τα πιο ρυπογόνα (Koutsoyiannis et al. 2008).

Στην Κύπρο όπου είναι έντονο το πρόβλημα της λειψυδρίας έχουν κατασκευαστεί επίσης στο παρελθόν τέτοια συστήματα (Τουμαζής et al. 2009).



Εικόνα 4.2: Υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης ομβρίων υδάτων στο χωριό Απαίσιά της Κύπρου. Πηγή (Τουμαζής et al. 2009).

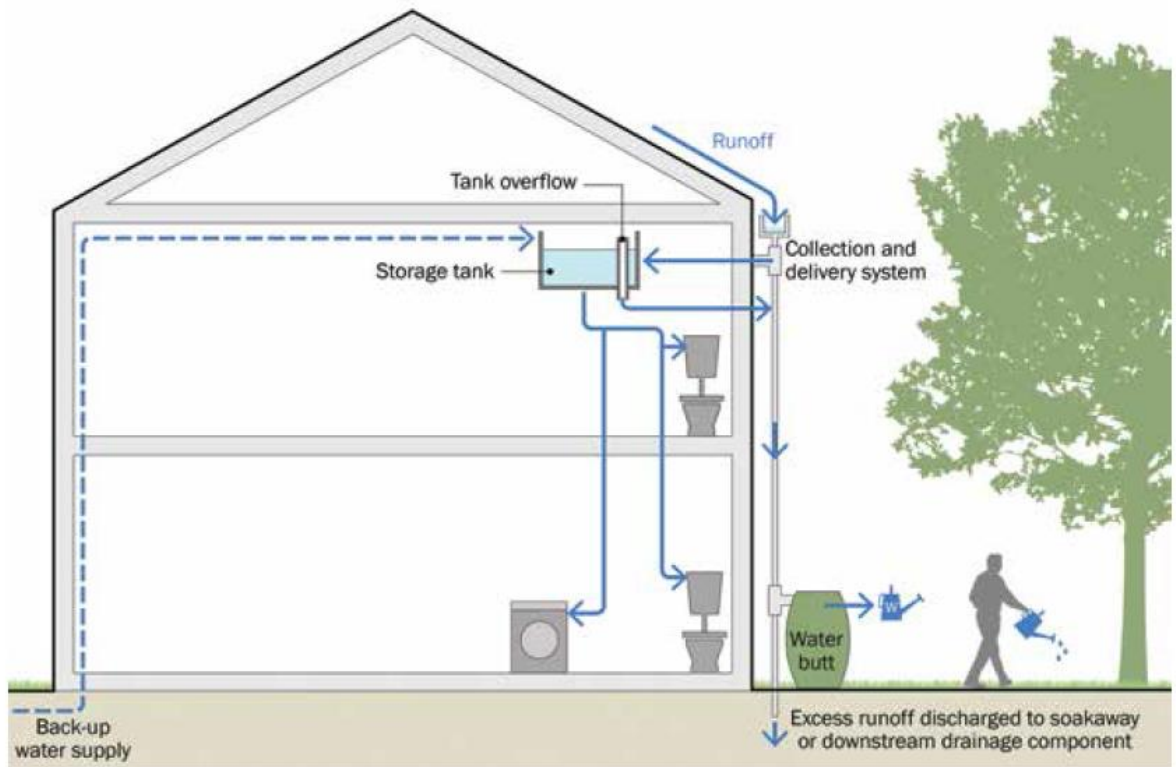
Τον τελευταίο καιρό έχει δοθεί ενδιαφέρον στα συστήματα αυτά ως μέθοδος διαχείρισης και εξοικονόμησης του νερού. Η σύγχρονη τεχνολογία παρέχει δυνατότητες, ώστε η ποιότητα του νερού της βροχής που συλλέγεται να είναι ικανοποιητική. Επίσης, η απλότητα της κατασκευής και οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης τα κάνουν ελκυστικά. Ειδικά σε περιοχές με ξηρό κλίμα, τα συστήματα αυτά θα μπορούσε να αποτελέσουν ένα αποδοτικό εργαλείο για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας (Mahmoud et al. 2014).

Ένα σύγχρονο σύστημα αποτελείται από μία δεξαμενή αποθήκευσης, μια αντλία, τις σωληνώσεις και το ηλεκτρικό ρεύμα που απαιτείται για τη λειτουργία του. Τα συστήματα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης του βρόχινου νερού συλλέγουν το νερό από την οροφή ή άλλες στεγανές περιοχές, το αποθηκεύουν, το φιλτράρουν εάν χρειάζεται και

μετά το διαθέτουν για δευτερεύουσες χρήσεις που δεν απαιτούν πόσιμο νερό, όπως το πότισμα των κήπων, την παροχή νερού στα καζανάκια της τουαλέτας κ.α. (Basinger et al. 2010).

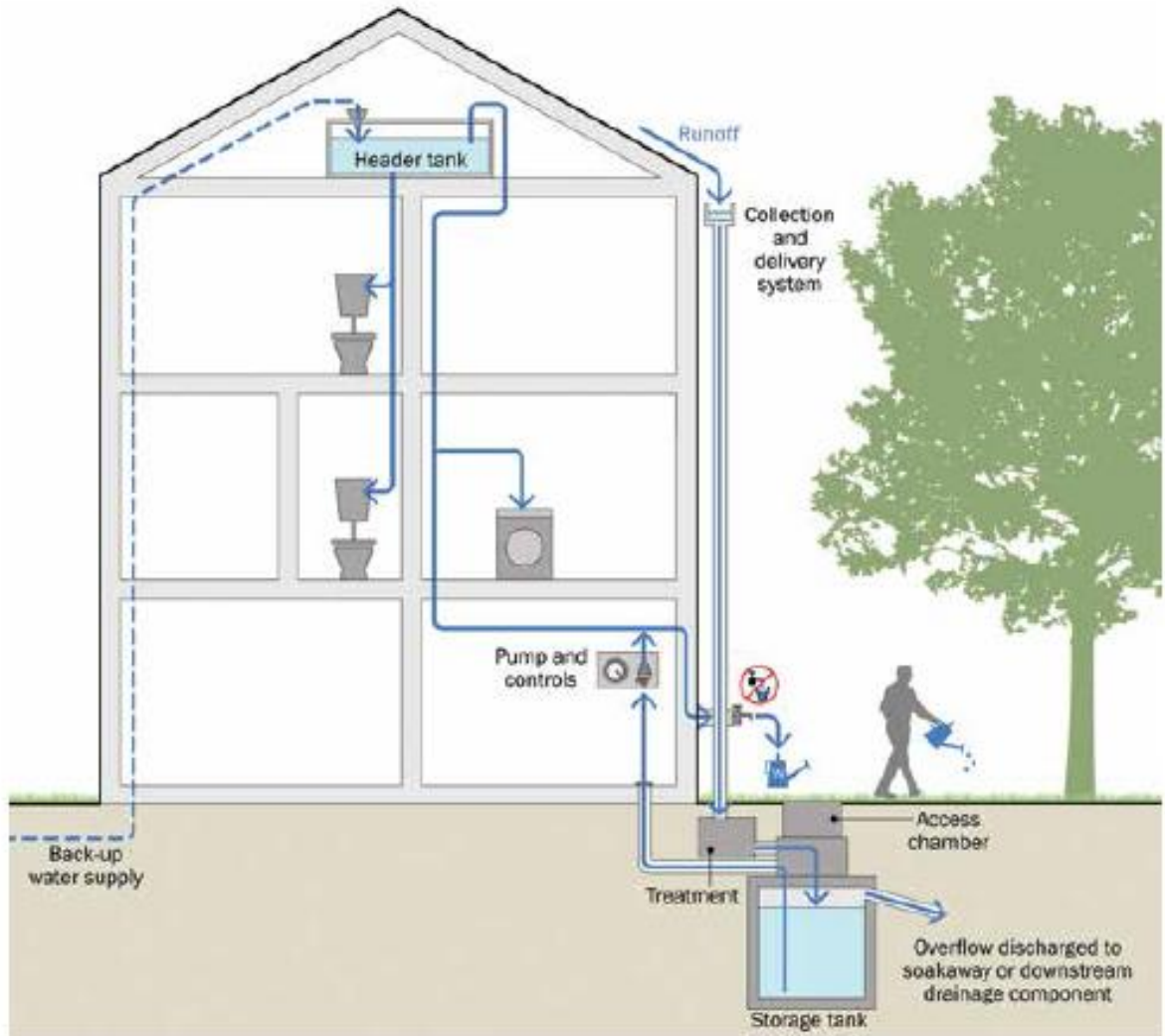
Στη Βαρκελώνη τα συστήματα RWH έχουν καθιερωθεί εδώ και σχεδόν μια δεκαετία σε οικιστικές περιοχές. Σε κάθε κατοικία πρέπει να εγκαθίσταται δεξαμενή χωρητικότητας 10 m³ για χρήση του νερού για την τουαλέτα και για το πότισμα των κήπων (Domènech et al. 2013). Ομοίως και στην Ιορδανία, όπου υπάρχει δυναμικότητα συλλογής περίπου 15.5 εκατομμυρίων m³ βρόχινου νερού, από οροφές κατοικιών (Abdulla & Al-Shareef 2009). Επίσης, σύμφωνα με τους (Gomes et al. 2012) για μια πενταμελή οικογένεια στη Βραζιλία υπολογίζεται ότι η αποθήκευση 16m³ βρόχινου νερού μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες σε νερό για τα $\frac{3}{4}$ του έτους.

Διακρίνονται δύο τύποι συστήματος RWH, τα συστήματα βαρύτητας και άντλησης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.3, στα συστήματα βαρύτητας η αποθήκευση του νερού γίνεται σε ένα υψηλό σημείο και η παροχή του νερού γίνεται με τη βαρύτητα. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει πριν την εφαρμογή να μελετάται η δομική αντοχή του κτηρίου και να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση της δεξαμενής ώστε η ποσότητα του νερού που θα αποθηκεύεται να είναι αρκετή (Kellagher et al. 2015).



Εικόνα 4.3: Σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης ομβρίων με βαρύτητα (Kellagher et al. 2015; Gambolati et al. 2002).

Τα συστήματα άντλησης (Εικόνα 4.4) αποθηκεύουν το νερό σε υπόγεια δεξαμενή. Μια μικρότερη ποσότητα αποθηκεύεται σε υψηλότερο σημείο και από εκεί διοχετεύεται για χρήση. Όταν στη μικρότερη δεξαμενή μειώνεται η στάθμη, το νερό αντλείται από την υπόγεια δεξαμενή ώστε να γεμίσει. (Kellagher et al. 2015).



Εικόνα 4.4: Σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης ομβρίων με άντληση
(Kellagher et al. 2015).

Το κόστος των δεξαμενών συλλογής ομβρίων εξαρτάται άμεσα από τη χωρητικότητα αλλά και από το υλικό τους. Έχει υπολογιστεί ότι στις ΗΠΑ για το έτος 2005, η τιμή για μεγάλες δεξαμενές από fiberglass ξεκινούσε από 0,5\$/gal (δολάρια ανά γαλόνι) δηλαδή 1,89 \$/lt (δολάρια ανά λίτρο) ενώ για μικρές, κατασκευασμένες από λαμαρίνα, η τιμή έφτανε μέχρι τα 4 \$/gal, δηλαδή τα 15\$/lt (Κατσιφαράκης et al. 2013). Για την Ελλάδα, αναφέρεται ενδεικτικά ότι μία πλαστική δεξαμενή χωρητικότητας 8 m³ κοστίζει περίπου 1.400 Ευρώ (Υδροτεχνική 2016). Βέβαια, για την εφαρμογή τους πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος της υδραυλικής εγκατάστασης.

Εκτός από τα συστήματα που περιεγράφηκαν πιο πάνω, σε ήδη κατασκευασμένες οικίες μπορεί να εφαρμοστεί ένας άλλος, πιο απλός τύπος συστήματος επαναχρησιμοποίησης νερού, τα βαρέλια βροχής (rain barrels). Αυτά είναι κλειστά δοχεία που συνδέονται με τις κατακόρυφες υδρορροές (Εικόνα 4.5) της οροφής. Μετά από παρεμβολή ενός απλού φίλτρου για τη συγκράτηση των φύλλων και άλλων ρύπων, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρήσεις όπως πλύσιμο αυτοκινήτων, πότισμα κήπων κ.α. Για να είναι αποδοτικό ένα βαρέλι βροχής θα πρέπει να επιλεγεί το σωστό μέγεθος ώστε να αδειάζει μεταξύ των βροχοπτώσεων ώστε να ανανεώνεται το νερό, χωρίς όμως να διακυβεύεται η επάρκεια του νερού (Jennings et al. 2013).



Εικόνα 4.5: Βαρέλια βροχής τα οποία απορρέουν σε κήπους. Αριστερά πηγή (Κατσιφαράκης et al. 2013). Δεξιά πηγή (Jojo Tanks 2016).

Το κόστος των βαρελιών βροχής είναι χαμηλό, ενώ δεν χρειάζονται μεγάλες αλλαγές στην υδραυλική εγκατάσταση για την εφαρμογή τους. Ορισμένα συστήματα αποθήκευσης ομβρίων φαίνονται στην Εικόνα 4.6.





Εικόνα 4.6: Διάφορα συστήματα διήθησης (αριστερά) και αποθήκευσης (δεξιά) ομβρίων.

4.2 Πράσινες Οροφές (Green Roofs)

Πράσινη οροφή ή αλλιώς φυτεμένο δώμα ή ταρατσόκηπος, μπορεί να χαρακτηριστεί κάθε κήπος ο οποίος κατασκευάζεται επάνω από μια δομική κατασκευή (Razzaghamanesh et al. 2014). Κατά τα τελευταία 30 έτη, οι πράσινες οροφές έχουν γίνει ένα πολύ σημαντικό συστατικό της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Η αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση και τα εντυπωσιακά οικονομικά και οικολογικά πλεονεκτήματα που έχουν είναι οι κύριες αιτίες που έχουν οδηγήσει στην υιοθέτηση τους από την κοινωνία (International Green Roof Association 2016).

Οι κήποι αυτοί αναπτύσσονται σε ελεγχόμενες συνθήκες και συμπεριφέρονται σαν οποιαδήποτε άλλη βλάστηση στο έδαφος. Ο κύριος μηχανισμός λειτουργίας των πράσινων οροφών είναι ο εξής: η βλάστηση δημιουργεί σκιά στην επιφάνεια της οροφής και μεταφέρει το νερό στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Το μέσο ανάπτυξης (δηλαδή το έδαφος) είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη της βλάστησης αλλά επίσης κατακρατεί το νερό της βροχής. Το νερό που δεν είναι δυνατό να απορροφηθεί καταλήγει στο δίκτυο όμβριων υδάτων σαφώς μειωμένο, τόσο σε ποσότητα όσο και σε ρυθμό. Με αυτό τον τρόπο, ειδικά όταν έχει κατασκευαστεί μεγάλος αριθμός από πράσινες οροφές σε μια περιοχή, μειώνονται τα πλημμυρικά φαινόμενα (Oberndorfer et al. 2007), καθώς η κατακράτηση του νερού της βροχής επιφέρει μείωση στην απορροή των ομβρίων υδάτων (Mentens et al. 2006; Durhman et al. 2007; Voyde et al. 2010). Η κατασκευή σε μία περιοχή αρκετών πράσινων οροφών καταπολεμά σημαντικά το φαινόμενο της θερμικής νησίδας (Chen & Wong 2006; Zhang et al. 2010) και βελτιώνει την ποιότητα της ατμόσφαιρας (Kellagher et al. 2015).

Επίσης, καταπολεμάται σημαντικά το φαινόμενο της θερμικής νησίδας (Chen & Wong 2006; Zhang et al. 2010) και βελτιώνεται η ποιότητα της ατμόσφαιρας (Kellagher et al. 2015). Επίσης, η βλάστηση φιλτράρει το νερό και βελτιώνει την ποιότητα του (Berndtsson et al. 2009; Razzaghmanesh et al. 2014). Από μελέτες έχουν παρατηρηθεί σημαντικά ποσοστά κατακράτησης του νερού, τα οποία ποικίλλουν από 58% σε 71%, ανάλογα με το πάχος του χώματος και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης (Low Impact Development Center 2007; Dietz 2007).

Φυσικά η ποσότητα του νερού που δύναται να κατακρατηθεί από μία πράσινη οροφή δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια των διαφορετικών εποχών. Στους ξηρούς μήνες, αναφέρεται ότι μπορεί να κατακρατηθεί το 95% της βροχής, ενώ κατά τη διάρκεια των βροχερών μηνών παρατηρείται μείωση του όγκου κατακράτησης σε λιγότερο από το 20%. Παρ' όλα αυτά, ακόμα και όταν η κατακράτηση του νερού είναι μικρή, υπάρχει καθυστέρηση στην είσοδο του στο δίκτυο ομβρίων, κάτι το οποίο συμβάλει στη μείωση της αιχμής πλημμύρας (Beattie & Jarrett 2009).

Επίσης, ανάμεσα στα πλεονεκτήματα τους, είναι η αύξηση της αξίας των κτιρίων (Nagase & Dunnett 2012), η βελτίωση της θερμική απόδοση τους, δροσίζοντας την οροφή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και μονώνοντας την κατά το χειμώνα, ανάλογα με την περιοχή. Έτσι, μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας στο κτίριο και βελτιώνονται οι συνθήκες οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση στους ενοίκους. Επίσης, το εσωτερικό ενός κτηρίου με πράσινη οροφή είναι πιο δροσερό με συνέπεια να μειώνεται η ανάγκη για κλιματισμό και συνεπώς να γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας (Theodosiou 2003), η οποία συνεπάγεται μείωση των εκπομπών CO₂.

Άλλα πλεονεκτήματα που έχουν εντοπιστεί είναι η βελτίωση του τοπίου, η προσφορά χώρων για αναψυχή (Getter & Rowe 2006; Jungels et al. 2013; Razzaghmanesh et al. 2014) και η μείωση του θορύβου (Kingsbury & Dunnett 2008). Επίσης έχουν οφέλη για τη βιοποικιλότητα, καθώς μελέτες έχουν δείξει ότι προσελκύουν διάφορα σπάνια έντομα (Coffman & Davis 2005) αλλά και πτηνά (Baumann 2006).

Ένας παράγοντας που κάνει τις πράσινες οροφές ιδανική λύση για την αειφορική διαχείριση των ομβρίων είναι ότι δεν χρειάζεται η εξεύρεση νέων χώρων για την

κατασκευή τους, αλλά αρκεί η χρήση υφιστάμενων, αχρησιμοποίητων χώρων (Oberndorfer et al. 2007). Αυτό είναι σημαντικό διότι οι ταράτσες των κτιρίων αποτελούν μεγάλο ποσοστό στεγανών περιοχών σε μια πόλη (Carter & Jackson 2007; Kingsbury & Dunnett 2008; Mentens et al. 2006). Αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότερες πράσινες οροφές κατασκευαστούν, τόσο μεγαλύτερη μείωση στην αιχμή πλημμύρας θα σημειωθεί, ενώ θα υπάρξουν και τα επιπρόσθετα οφέλη που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Οι πράσινες οροφές μπορούν να κατασκευαστούν σε διάφορα κτήρια, σε βιομηχανίες, αποθήκες εμπορευμάτων, συγκροτήματα γραφείων, νοσοκομεία, σχολεία, επάνω από υπόγειους χώρους στάθμευσης, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως κήπος ο οποίος θα προσφέρει στον ιδιοκτήτη ένα χώρο αναψυχής (εντατικός τύπος) ή ως απροσπέλαστος βιότοπος για τη χλωρίδα και πανίδα μέσα στην πόλη (εκτατικός τύπος). Όλοι οι τύποι παρέχουν σημαντικό αριθμό ωφελημάτων και τα βασικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Η απόφαση σχετικά με τον τύπο που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τη χρήση της οροφής και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από το στάδιο προγραμματισμού (International Green Roof Association 2016).

Πίνακας 4.1 Τύποι Πράσινης Οροφής. Πηγή (International Green Roof Association 2016).

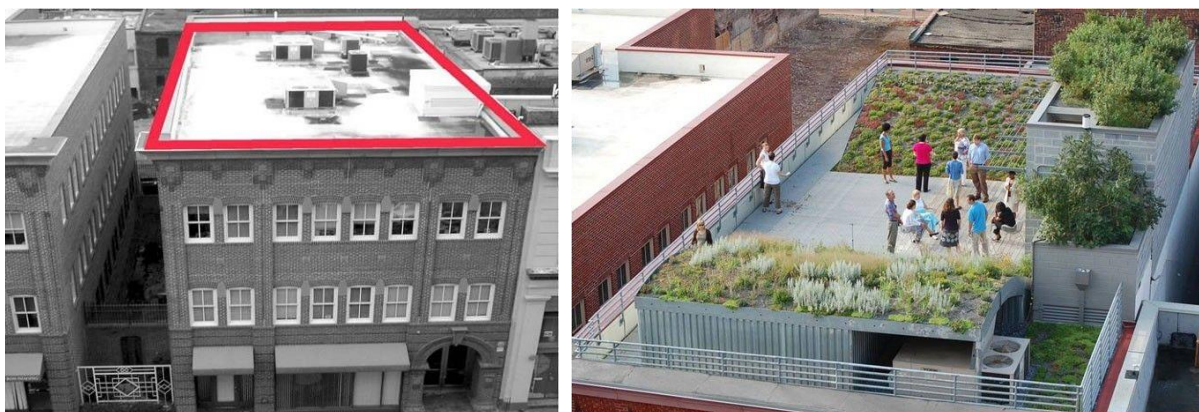
	Εκτακτικός	Ημιεντατικός	Εντατικός
Ανάγκες Συντήρησης	Χαμηλές	Μέτριες Περιοδική Συντήρηση	Υψηλές Τακτική Συντήρηση
Άρδευση	Όχι	Περιοδική άρδευση σε επικλινείς και επίπεδες οροφές και απαιτεί συντήρηση (άρδευση, λίπανση, κλπ.).	Συχνή άρδευση
Τύποι φυτών	Φυτά με επιφανειακό ριζικό σύστημα, χαμηλής βλάστησης, χλοοτάπητες και φυτά εδαφοκάλυψης.	Χλοοτάπητες, ποώδη φυτά και μικροί ή μεσαίοι θάμνοι.	Φυτά, μικρά δέντρα και θάμνοι.
Πάχος στρώματος	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm > 1000 mm Όταν εφαρμόζονται επάνω από υπόγειους χώρους στάθμευσης
Βάρος συστήματος	60 - 150 kg/m ²	120 - 200 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
Κόστος	Χαμηλό	Μέσο	Υψηλό
Χρήση	Θερμομόνωση	Απροσπέλαστη πράσινη οροφή	Κήπος – πάρκο



Εικόνα 4.7: Εντατική στέγη στην οροφή μιας υπεραγοράς στο Milton Keynes στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πηγή (Yu 2013).



Εικόνα 4.8: Εκτατικός τύπος πράσινης στέγης πάνω από χώρο στάθμευσης στη Γερμανία (Πηγή: (Loder 2016).



Εικόνα 4.9: Στέγη πριν την κατασκευή (αριστερά) και μετά την μετατροπή της σε ημιεντατική πράσινη οροφή (δεξιά). Πηγή (Landscape Architecture Foundation 2007).

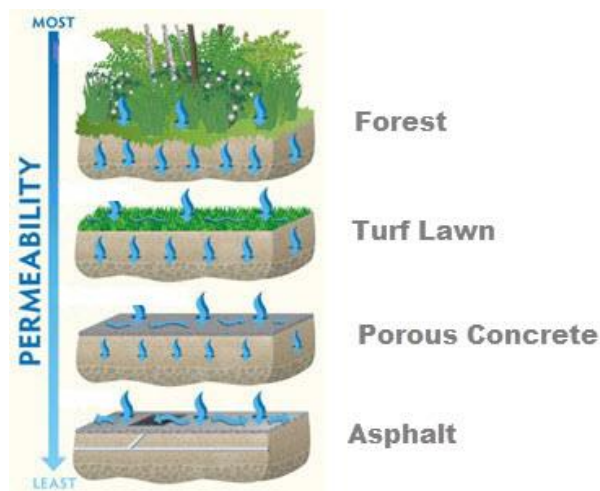
Σύμφωνα με την εκτίμηση των Rosenzweig et al. (2006), εάν το 50% των επίπεδων στεγών της Νέας Υόρκης μετατρέπονταν σε πράσινες, τότε το φαινόμενο της θερμικής νησίδας θα μπορούσε να μειωθεί μέχρι και 0.8°C . Ο πιο βασικός περιορισμός όσο αφορά στην κατασκευή πράσινης οροφής σε υφιστάμενα κτίρια είναι η δυνατότητα τους να παραλάβουν φορτία. Τα κτήρια ηλικίας μεγαλύτερης των 30 ετών από πολλούς θεωρούνται καταλληλότερα, διότι έχουν μεγαλύτερη ικανότητα παραλαβής φορτίων σε αντίθεση με τα νεότερα στα οποία οι υπολογισμοί έχουν γίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια (Stovin et al. 2007).

Το κόστος των πράσινων οροφών κατά το 2003 κυμαινόταν από 47 έως 113 €/m² για μία νέα οροφή, και από 66 έως 189 €/m² για την κατασκευή σε υφιστάμενη οροφή (Liptan & Strecker 2003). Όσο αφορά στο κόστος για τη συντήρηση και λειτουργία τους, έχει υπολογιστεί περίπου σε 9,5 σε 15 €/m² για τα δύο πρώτα χρόνια μιας εντατικής οροφής και ετησίως για εντατική οροφή (New York State 2007), σε τιμές του 2007.

4.3 Διαπερατά Δάπεδα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η στεγανοποίηση των εδαφών προκαλεί αρκετές επιπτώσεις στην απορροή των ομβρίων. Η επιφανειακή απορροή από περιοχές με συμπιεσμένο έδαφος είναι μικρότερη κατά 20% σε σχέση με την απορροή από περιοχές καλυμμένες με αδιαπέρατη από το νερό κάλυψη (Abi Aad et al. 2010). Έτσι, η κάθε περιοχή ανάλογα με τη κάλυψη που διαθέτει έχει και την ανάλογη διείσδυση του νερού στο υπέδαφος. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.10, μια περιοχή

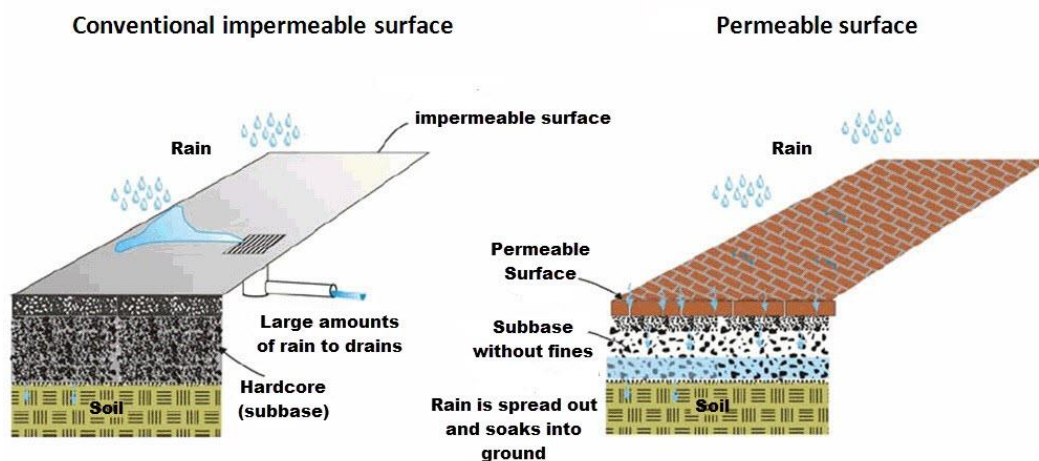
καλυμμένη από δάσος απορροφά τη μέγιστη ποσότητα νερού της βροχής που πέφτει, ενώ μια αστικοποιημένη περιοχή η οποία είναι καλυμμένη με άσφαλτο απορροφά την ελάχιστη ποσότητα.



Εικόνα 4.10: Διαπερατότητα διαφόρων εδαφών. πηγή (The Watershed Company 2016).

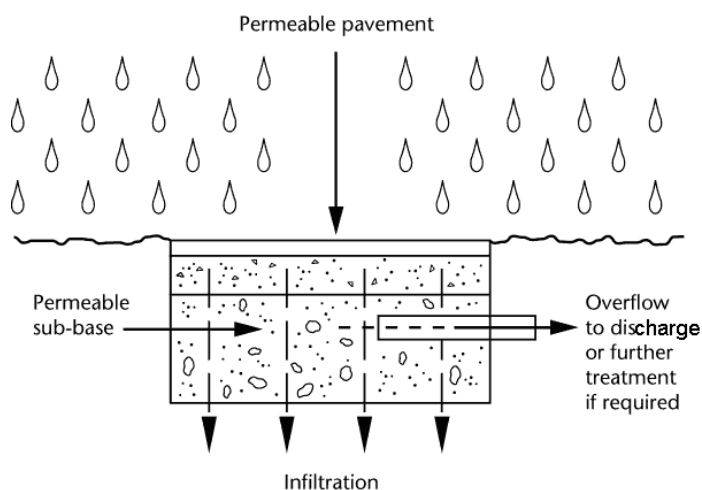
Σε αντίθεση με τις συμβατικές καλύψεις γης στις οποίες το νερό συλλέγεται με σχάρες από την επιφάνεια και στη συνέχεια μεταφέρεται απευθείας στο δίκτυο αγωγών ομβρίων (

Εικόνα 4.11), οι διαπερατές ή πορώδεις επιφάνειες έχουν στόχο να επιτρέψουν στο νερό της βροχής να μεταβεί στο υπέδαφος απευθείας από την επιφάνεια του δαπέδου.



Εικόνα 4.11: Διαφορές μεταξύ αδιαπεράτων εδαφών (αριστερά) και διαπερατών (δεξιά). Πηγή (Prokop et al. 2011).

Τα διαπερατά δάπεδα διαμορφώνονται έτσι ώστε να συλλέγουν, να επεξεργάζονται και να διηθούν το νερό στο υπέδαφος, υποβοηθώντας στην επαναφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα (Ahiablame et al. 2013), ενώ αντικαθιστούν την ανάγκη τοποθέτησης αγωγών ομβρίων, επιτρέποντας στο νερό να μεταβεί μέσω τους, προς τον υδροφόρο ορίζοντα ή προς κάποιο χώρο συλλογής διαμέσου του δαπέδου (Εικόνα 4.12). Κατά την κίνηση του, το νερό φιλτράρεται και καθαρίζεται από τις ρυπογόνες ουσίες και κατά συνέπεια βελτιώνεται η ποιότητα του (Scholz & Grabowiecki 2007; Dietz 2007; Bean et al. 2007).



Εικόνα 4.12: Τυπική τομή ενός διαπερατού δαπέδου. Πηγή (NetRegs 2016).

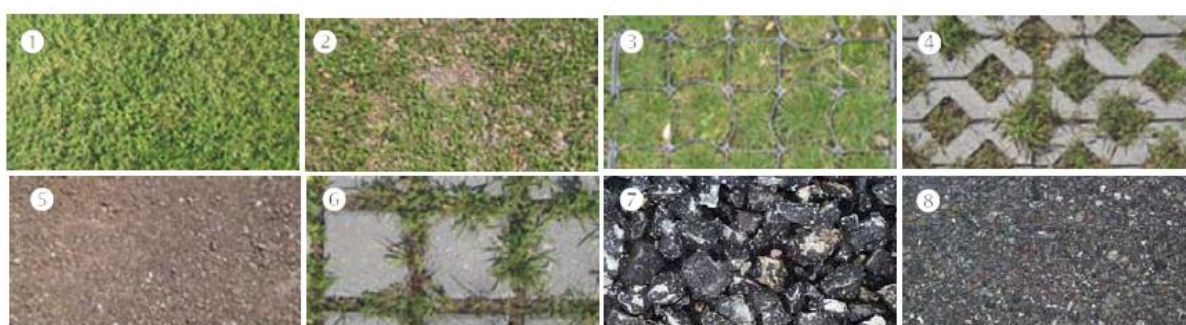
Τα πορώδη ή διαπερατά δάπεδα χρησιμοποιούνται στο εξωτερικό όλο και πιο συχνά ως μέσο για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις της αστικοποίησης στον υδρολογικό κύκλο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιδιωτικούς ή δημόσιους χώρους στάθμευσης σε αστικές περιοχές ή σε οδούς και περιοχές με ελαφριά κυκλοφορία, σε πεζοδρόμια, ποδηλατοδρόμους ή ακόμα και γήπεδα αθλοπαιδιών, ενώ μπορεί να είναι φυτεμένα με γρασίδι ή όχι. Από πολλούς κρίνεται απαραίτητη η χρήση τους σε πυκνοδομημένες περιοχές (Yu 2013). Στην Κύπρο η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη, κυρίως λόγω άγνοιας όσο αφορά στο κόστος τους ή στη διαθεσιμότητα των υλικών.

Σύμφωνα με τους Scholz & Grabowiecki (2007), τα διαπερατά δάπεδα είναι αποτελεσματικά στη μείωση της αιχμής της πλημμύρας, καθώς έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου της απορροής και κατά συνέπεια την αποφόρτιση του δικτύου αποχέτευσης (Collins et al. 2007). Επίσης στην περίπτωση διαπερατών οδοστρωμάτων, αποφεύγεται η συσσώρευση του επιφανειακού νερού στο δρόμο κατά τη διάρκεια της βροχής, διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τους οδηγούς των διερχόμενων οχημάτων. Στη Γαλλία, ένα τμήμα δρόμου κατασκευάστηκε με διαπερατή άσφαλτο και ένα χώρο

αποθήκευσης του νερού που αποτελούσαν από σπαστή πέτρα βάθους 61 εκατοστών. Κατά μέσο όρο βρέθηκε ότι το 96,7% του νερού της βροχής απορροφήθηκε από το υπέδαφος (Dietz 2007).

Επίσης, στο Auckland της Νέας Ζηλανδίας, διεξήχθη συγκριτική μελέτη 4 τύπων διαπερατών δαπέδων σε ένα χώρο στάθμευσης εμβαδού 200 m² ο οποίος δεχόταν απορροή από γειτονικό ασφαλτοστρωμένο δρόμο εμβαδού 850 m². Η απορροή παρακολουθούταν συνεχώς μεταξύ του 2006 και 2008. Παρότι η συγκεκριμένη εφαρμογή δεν ήταν ιδανική διότι το υπέδαφος είχε χαμηλή διαπερατότητα, η κλίση του εδάφους ήταν μεγάλη (6-7.4%) και ο δρόμος ήταν πολυσύχναστος, η επίδοση των διαπερατών δαπέδων όσο αφορά στη μείωση της απορροής κρίθηκε ικανοποιητική, καθώς παρατηρήθηκε η καθυστέρηση της απορροής κατά 1 ώρα, σε αντίθεση με το χρόνο απορροής μέσω του συμβατικού εδάφους η οποία μετρήθηκε 12 λεπτά (Fassman & Blackbourn 2010).

Γενικά, υπάρχει μεγάλη γκάμα από εναλλακτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά αντί της χρήσης αδιαπέραστων από το νερό υλικών όπως είναι η άσφαλτος ή το τσιμέντο. Ανάλογα με την περιοχή εφαρμογής και με τον επιθυμητό βαθμό διήθησης, υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Στην Εικόνα 4.13 φαίνονται τα πιο διαδεδομένα, ταξινομημένα ανάλογα με τη διαπερατότητα τους, από το πιο διαπερατό στο πιο αδιαπέρατο και στη συνέχεια ακολουθεί σύντομη παρουσίαση τους.



Εικόνα 4.13: Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διαπερατές επιφάνειες, ταξινομημένες από τις περισσότερο στις λιγότερο διαπερατές. 1) χλοοτάπητας, 2) χαλικοτάπητας, 3) πλαστικά και 4) τσιμεντένια πλέγματα με γρασίδι, 5) σκυρόστρωμα, 6) διαπερατές τσιμεντένιες επιστρώσεις, 7) πορώδης άσφαλτος και 8) η μη διαπερατή άσφαλτος.

Πηγή (Prokop et al. 2011).

1. Χλοοτάπητας

Η κάλυψη του εδάφους με χλοοτάπητα είναι διαδεδομένη λύση διότι προστατεύει την επιφάνεια του εδάφους, προλαμβάνει την απορροή νερού, τη σκόνη και τη δημιουργία λάσπης. Επίσης ρυθμίζει το μικροκλίμα συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012).

2. Χαλικοτάπητας (gravel turf)

Ο χαλικοτάπητας μοιάζει με συμβατικό χλοοτάπητα και μπορεί να απορροφήσει το νερό της βροχής μέχρι 100%. Ο τάπητας από χαλίκι, είναι γνωστός και ως «γρασίδι ενισχυμένο με χαλίκι». Η βάση του αποτελείται από φυσικό ή ανακυκλωμένο χώμα αναμιγμένο με κομπόστ. Θεωρείται η πλέον ελπιδοφόρος τεχνική για υπαίθριους χώρους στάθμευσης οχημάτων και μη πολυσύχναστους δρόμους. Το κόστος κατασκευής του είναι κατά πολύ μικρότερο από το κόστος της συμβατικής ασφαλτόστρωσης, ενώ το κόστος συντήρησης του είναι πολύ χαμηλό (Prokop et al. 2011).

Ωστόσο, για την κατασκευή τους χρειάζονται εξειδικευμένα συνεργεία με εμπειρία. Στο παρελθόν, η κακή πρακτική είχε ως αποτέλεσμα την απόφραξη επιφανειών και την απώλεια της ικανότητας αποστράγγισης. Η τεχνική έχει σημειώσει σημαντική βελτίωση τα τελευταία χρόνια και ο τάπητας από χαλίκι είναι μια οικολογική επιφάνεια για δημόσιους χώρους στάθμευσης με μεγάλες προοπτικές (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012).



Εικόνα 4.14: Κατασκευή χαλικοτάπητα. Πηγή (Green 4 Cities 2014).

3. Πλαστικά πλέγματα με γρασίδι (Plastic Grids)

Τα πλαστικά πλέγματα γεμίζονται με χώμα ή με μικρής διαμέτρου σπαστή πέτρα και συνήθως φυτεύονται με γρασίδι. Η τοποθέτησή τους είναι εύκολη και χαμηλού κόστους. Στην τελική τους μορφή μοιάζουν με συμβατικούς χλοοτάπητες. Τα πλέγματα αυτά κατασκευάζονται από Πολυαιθυλένιο, το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί εάν χρειαστεί.



Εικόνα 4.15: Πλαστικά πλέγματα με γρασίδι. Μπορούν να γεμίσουν με γρασίδι ή χαλίκι. Πηγή (TYPAR 2016).

Μπορούν να κατασκευαστούν σε χαμηλής κυκλοφορίας δρόμους. Έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται η κατασκευή επιπλέον δικτύου ομβρίων. Επίσης, βελτιώνουν την ελκυστικότητα του τοπίου ενώ για την κατασκευή τους είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ανακυκλωμένα υλικά. Είναι απαραίτητο να δίνεται προσοχή στην κατασκευή τους (Prokop et al. 2011).

Η ικανότητα τους να διηθήσουν την απορροή είναι μεγάλη, καθώς αποδίδουν συντελεστή διαπερατότητας 0,3 το οποίο αντιστοιχεί σε 90% διαπερατότητα (Prokop et al. 2011). Σύμφωνα με τους Dreelin et al. (2006) οι οποίοι σύγκριναν την απορροή από ένα σύστημα από πλαστικό πλέγμα (Grassy Paver™) το οποίο είχε πληρωθεί από άμμο και φυτεύτηκε με γρασίδι, και ένα γειτονικό χώρο στάθμευσης στρωμένο με συμβατική άσφαλτο. Από τη σύγκριση βρέθηκε ότι το σύστημα από πλαστικό πλέγμα εμφάνισε

κατά 93% μικρότερη απορροή από το συμβατικό χώρο στάθμευσης, κατά τη διάρκεια μικρών και μεσαίων βροχοπτώσεων.

4. Διαπερατά πλέγματα από σκυρόδεμα (Τσιμεντομπλόκς)

Είναι προϊόντα από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα σε μορφή τούβλου ή σχάρας με ανοιχτά κενά τα οποία επιτρέπουν τη διέλευση του νερού. Συνήθως τοποθετούνται με το χέρι σε κατάλληλα διαμορφωμένο έδαφος, ενώ τελευταία έχει γίνει εφικτή η τοποθέτηση τους με μηχανικά μέσα, κάτι που μειώνει το κόστος εγκατάστασης, το οποίο είναι σημαντικά υψηλότερο από τα πλαστικά. Τα κενά συνήθως πληρώνονται με πέτρα σπαστή, αμμοχάλικο ή φυτεύονται με τύρφη (Dietz 2007).



Εικόνα 4.16: Κατασκευή ενός διαδρόμου με διαπερατά πλέγματα από σκυρόδεμα. Πηγή (Prokop et al. 2011).

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χώρους στάθμευσης με υψηλή κυκλοφορία, ενώ βελτιώνουν και την αισθητική του τοπίου. Χρειάζονται συχνή συντήρηση και δημιουργούν ανώμαλο έδαφος (Prokop et al. 2011), κάτι το οποίο αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα για την κατασκευή τους σε χώρους όπου χρησιμοποιούνται καροτσάκια, όπως χώροι στάθμευσης υπεραγορών.

Δύο συστήματα πλαστικών πλεγμάτων καθώς και δύο διαφορετικά είδη πλεγμάτων από σκυρόδεμα μελετήθηκαν στο Renton της Washington, όπου τοποθετήθηκαν σε ένα πολυσύχναστο χώρο στάθμευσης και συγκρίθηκαν με τμήμα στο οποίο τοποθετήθηκε συμβατική άσφαλτος. Μετά την πάροδο 6 ετών δεν διαπιστώθηκε οποιαδήποτε

επιφανειακή απορροή από αυτά, ενώ ακόμα και η ποιότητα του νερού ήταν βελτιωμένη (Brattebo & Booth 2003).

5. Υδατοπερατές επιφάνειες από σκυρόστρωμα

Οι υδατοπερατές επιφάνειες από σκυρόστρωμα χρησιμοποιούνται σε οδούς χαμηλής κυκλοφορίας ή πεζόδρομους. Σε σχέση με τις συμβατικές ασφαλτοστρωμένες επιφάνειες, αυτές οι επιφάνειες έχουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος κατασκευής, αλλά χρειάζονται μεγαλύτερη συντήρηση και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικό όγκο σκόνης και λάσπης κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων .

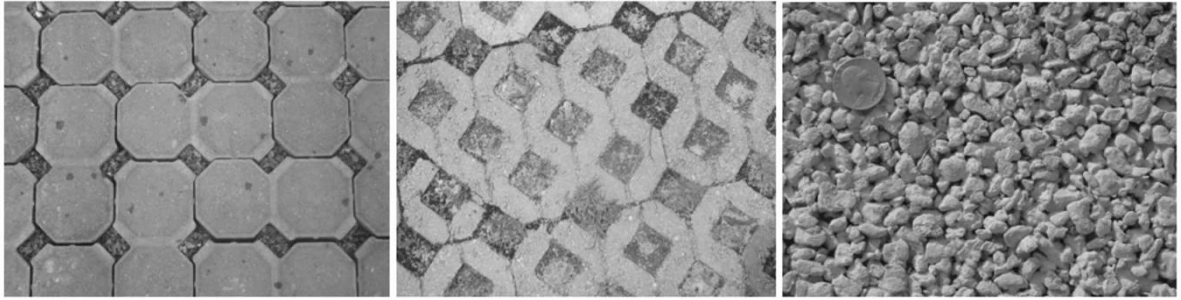


Εικόνα 4.17: Παραδείγματα διαπερατών οδών από σκυρόστρωμα (Prokop et al. 2011).

Οι πρώτες ύλες που χρειάζονται για την κατασκευή τους είναι διαθέσιμες τοπικά στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Δεν συστήνεται η κατασκευή τους σε περιοχές με έντονους ανέμους.

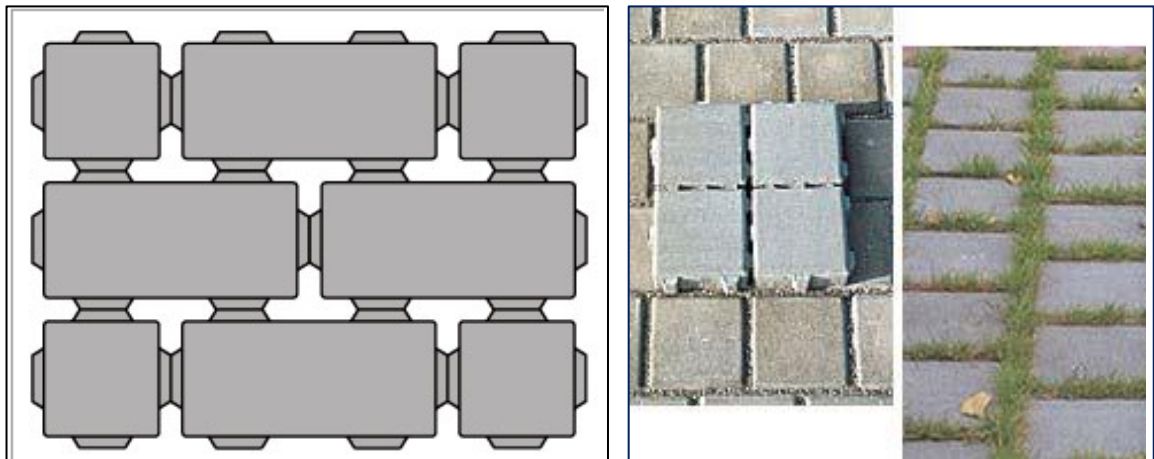
6. Διαπερατά δάπεδα από σκυρόδεμα

Μπορεί να αποτελούνται από πλάκες συμβατικού σκυροδέματος οι οποίες τοποθετούνται με κενά μεταξύ τους είτε από διαπερατό σκυρόδεμα (Εικόνα 4.18).



Εικόνα 4.18: Διαπερατό δάπεδο από πλάκες σκυροδέματος (αριστερά και μέση) και διαπερατό σκυρόδεμα (δεξιά). Πηγή (Bean et al. 2007).

Στα δάπεδα από πλάκες σκυροδέματος, το νερό διέρχεται μέσω των μεταξύ τους κενών στο υπέδαφος. Οι τσιμεντένιες πλάκες με διάκενα χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολυσύχναστους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, σε πύλες ή αυλές. Οι αρμοί γεμίζονται είτε με χούμο και σπόρους γρασιδιού ή σκύρα και καθιστούν την επιφάνεια πιο ομαλή (Εικόνα 4.19).



Εικόνα 4.19: Παραδείγματα από πλάκες σκυροδέματος με κενά μεταξύ τους (Prokop et al. 2011).

Υπάρχει επίσης και το διαπερατό σκυρόδεμα, το οποίο είναι παραλλαγή του τυπικού μίγματος σκυροδέματος. Η διαπερατότητα του επιτυγχάνεται με την παράλειψη των λεπτών αδρανών από το μίγμα (Kevern et al. 2006). Η τυπική του σύσταση παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2

Πίνακας 4.2: Τυπική σύσταση διαπερατού σκυροδέματος, στις ΗΠΑ. Πηγή (Kevern et al. 2006).

Υλικό	Ποσότητα / yd ³
Τσιμέντο	300 με 600 lb
Αδρανή βάση	2400 με 2700 lb
Λεπτά αδρανή	0
Νερό / τσιμέντο	0,27 με 0,43

Το διαπερατό σκυρόδεμα εκτός από την τοποθέτηση του σε πλάκες, μπορεί να διαστρωθεί και σε μεγάλες επιφάνειες. Χρειάζεται όμως ιδιαίτερη προσοχή τόσο κατά την παρασκευή του όσο και κατά τη μεταφορά του αλλά και την τοποθέτηση (Kevern et al. 2006).



Εικόνα 4.20: Κατασκευή δαπέδου από διαπερατό σκυρόδεμα (Kevern et al. 2006).

Στην Εικόνα 4.21 παρουσιάζεται μια δεξαμενή διήθησης από διαπερατό σκυρόδεμα σε μία πλατεία η οποία κατασκευάστηκε το 2002 στο Πανεπιστήμιο Villanova. Η πλατεία αυτή δέχεται την απορροή του νερού από γειτονικές περιοχές στρωμένες με σκυρόδεμα, αρκετές οροφές και χώρους πρασίνου. Μέχρι το 2007 η πλατεία έχει επιτύχει στην παραλαβή της απορροής από όλες τις βροχοπτώσεις έντασης μέχρι και 5 εκατοστών (Kwiatkowski et al. 2007).



Εικόνα 4.21: Η διαμόρφωση της πλατείας στο Πανεπιστήμιο Villanova. Αριστερά είναι πριν την κατασκευή και δεξιά μετά. Πηγή (Kwiatkowski et al. 2007).

7. Πορώδης άσφαλτος

Η πορώδης άσφαλτος απαιτεί την ίδια τεχνική κατασκευής όπως η συνήθης άσφαλτος. Αποτελείται από κοινή άσφαλτο στην οποία τα λεπτά αδρανή αφαιρέθηκαν, δημιουργώντας κενό χώρο που καθιστά την άσφαλτο πολύ διαπερατή στο νερό. Ο κενός χώρος της πορώδους ασφάλτου είναι περίπου 15 – 20 %, σε αντιδιαστολή με 2 – 3 % τοις εκατό για τη συμβατική άσφαλτο (Prokop et al. 2011).



Εικόνα 4.22: Τύποι ασφάλτου. (1) συμβατική μη διαπερατή άσφαλτος. (2) πορώδης άσφαλτος με κόκκους μεγάλης διαμέτρου. (3) πορώδης άσφαλτος με κόκκους μικρής διαμέτρου. Πηγή (Prokop et al. 2011).

Τα διαπερατά υλικά επιτρέπουν την εξάτμιση, πράγμα που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον κλιματισμό των πόλεων και την αποφυγή του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2012). Επίσης, έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών, όμως συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται σε χώρους με μικρή κυκλοφορία, παρόλο που οι δυνατότητες τους επιτρέπουν της χρήση τους σε πιο πολλές περιπτώσεις (Scholz & Grabowiecki 2007).

Ένα μειονέκτημα των διαπερατών δαπέδων είναι το φράξιμο των πόρων τους από λεπτόκοκκα υλικά. Έχει βρεθεί ότι το φράξιμο των πόρων σημειώνεται στα επιφανειακά 2 εκατοστά της επιφάνειας (Balades et al. 1995). Για το λόγο αυτό συστήνεται να γίνεται τακτική συντήρηση η οποία να περιλαμβάνει το σκούπισμα της επιφάνειας με σκούπα αναρρόφησης ή και πλύσιμο με νερό υψηλής πίεσης, ενώ σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών διαπερατών δαπέδων (π.χ. UNI-Ecostone®) σπανιότερα απαιτείται η αφαίρεση και επαναπλήρωση του υλικού, ανάλογα με τις συνθήκες της κάθε περιοχής (Dietz 2007).

Επίσης, υπάρχουν ανησυχίες που αφορούν στη δυνατότητα του υπεδάφους να παραλάβει και να διηθήσει το νερό. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι με τον κατάλληλο σχεδιασμό (π.χ. με την κατασκευή μεγαλύτερου χώρου αποθήκευσης του νερού και με την τοποθέτηση αγωγού υπερχείλισης), τα διαπερατά δάπεδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε εδάφη με μικρή διαπερατότητα, (Dietz 2007). Σύμφωνα πάντως με τους (Bean et al. 2007) ακόμα και αν φράξουν οι επιφανειακοί τους πόροι, κάτι που συνεπάγεται τη μείωση της ικανότητας απορροής τους, αυτές οι κατασκευές μπορούν ακόμα να παραλάβουν μεγάλες ποσότητες νερού.

Μια επιτυχημένη εφαρμογή διαπερατών πεζοδρομίων με σκοπό να μετριαστεί η απορροή των ομβρίων παρουσιάστηκε από τους (Jayasuriya et al. 2007) οι οποίοι παρουσίασαν τη δυνατότητα των διαπερατών πεζοδρομίου να μειώσουν τη μέγιστη απορροή και να βελτιώσουν την ποιότητα νερού κατά τις ακραίες βροχοπτώσεις.

Το κόστος για την κατασκευή διαπερατών δαπέδων ποικίλλει ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί τους, ενώ δίνεται και εκτίμηση κόστους σε σύγκριση με τη συμβατική ασφαλτο.

Πίνακας 4.3: Σύγκριση πλεονεκτημάτων, περιορισμών και κόστους των διαπερατών δαπέδων και της συμβατικής ασφάλτου. Η σύγκριση των τιμών του πίνακα συγκρίνονται με την τιμή της συμβατικής ασφάλτου η οποία υπολογίστηκε σε 40 €/m², χωρίς ΦΠΑ, σε τιμές του 2010. Για κάθε τύπο δαπέδου στην τιμή υπολογίζεται εκτός από το κόστος του υλικού και το κόστος κατασκευής. Πηγή (Prokop et al. 2011).

	Application Range				Benefits					Limitations					Costs*:		
	pedestrians	parking, small vehicles	parking, medium vehicles	road traffic	Visual appearance	Vegetation possible	High drainage capacity	Regional materials	Improves micro climate	High maintenance	Bad walking comfort	No disabled parking	Sludge accumulation	Dust formation	Unsealed surface	Run-off coefficient	Asphalt =100%
Lawn, sandy soil					☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆			☆☆☆	☆☆☆		100%	<0.1	<2%
Gravel Turf	✓	✓	✓		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆	☆	☆			100%	0.1 – 0.3	50-60%
Grass grids (plastic)	✓	✓			☆☆	☆☆	☆☆	☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆		90%	0.3 – 0.5	75%
Grass grids (concrete)	✓	✓	✓	✓	☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆		40%	0.6 – 0.7	75-100%
Water bound surfaces	✓	✓	✓		☆		☆	☆☆☆		☆☆	☆	☆	☆☆	☆☆	50%	0.5	50%
Permeable pavers	✓	✓	✓		☆		☆	☆☆☆	☆	☆					20%	0.5 – 0.6	100-125%
Porous Asphalt	✓	✓	✓	✓				☆☆							0%	0.5 – 0.7	100-125%
Asphalt	✓	✓	✓	✓											0%	1	100%

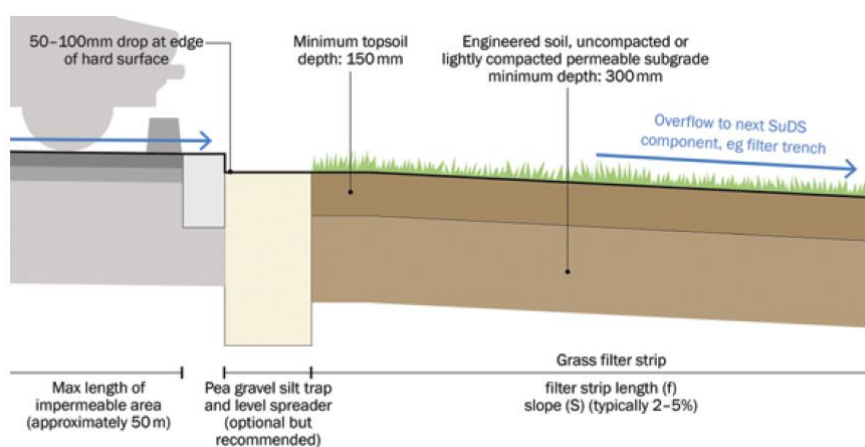
4.4 Λωρίδες Φιλτραρίσματος και Φυτεμένα Αυλάκια

Οι λωρίδες φιλτραρίσματος (Filter Strips) είναι λωρίδες γης που έχουν μικρή κλίση, φυτεμένες με γρασίδι ή άλλη βλάστηση οι οποίες έχουν σκοπό να φιλτράρουν την απορροή από παρακείμενη αδιαπέραστη περιοχή (Εικόνα 4.23).



Εικόνα 4.23: Μία λωρίδα φιλτραρίσματος δίπλα από δρόμο. Παρατηρούμε ότι στο κάτω μέρος καταλήγει σε αυλάκι. Πηγή (Chesapeake Stormwater Network 2016).

Έχουν ομοιόμορφη και ήπια κλίση, ενώ εάν χρειάζεται μπορεί να γίνεται και διήθηση του νερού στο υπέδαφος. Χρησιμοποιούνται ως μέσο προ-επεξεργασίας του νερού πριν την είσοδο του σε άλλες κατασκευές ΑΣΔΟ (Yu 2013), συνήθως δίπλα από αυλάκια ώστε να φιλτράρουν το νερό. Στην Εικόνα 4.24 φαίνεται μια τυπική τομή λωρίδας φιλτραρίσματος.



Εικόνα 4.24: Τυπική τομή μιας λωρίδας φιλτραρίσματος. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Παρότι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι απλή, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στις λεπτομέρειες. Το νερό θα πρέπει να ρέει προς τη λωρίδα με μικρή ταχύτητα και ομοιόμορφα, κατά όλο το μήκος της λωρίδας. Η κλίση θα πρέπει να είναι πολύ μικρή ενώ δεν θα πρέπει να παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο στην πορεία του νερού. Το φίλτρο θα πρέπει να εκτείνεται κατά μήκος όλης της περιοχής που θα αποχετεύει.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές περιπτώσεις όπως σε χώρους στάθμευσης ή σε πάρκα αλλά επειδή είναι λωρίδες, ενδείκνυται η χρήση τους δίπλα από δρόμους. Θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην κατασκευή τους με τέτοιο τρόπο ώστε να μην καταστρέφονται από το κοινό.

Τα φίλτρα διήθησης χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση της απορροής κατά τη διάρκεια μικρών βροχοπτώσεων και για την μείωση των ρυπαντών πριν την είσοδο του νερού σε άλλο ΑΣΔΟ. Δεν παρέχουν σημαντική διήθηση κατά τις περιόδους βροχόπτωσης, αλλά παρέχουν αισθητική αξία και ενισχύουν τη βιοποικιλότητα (Kellagher et al. 2015). Συνήθως κατασκευάζονται δίπλα από φυτεμένα αυλάκια διήθησης.

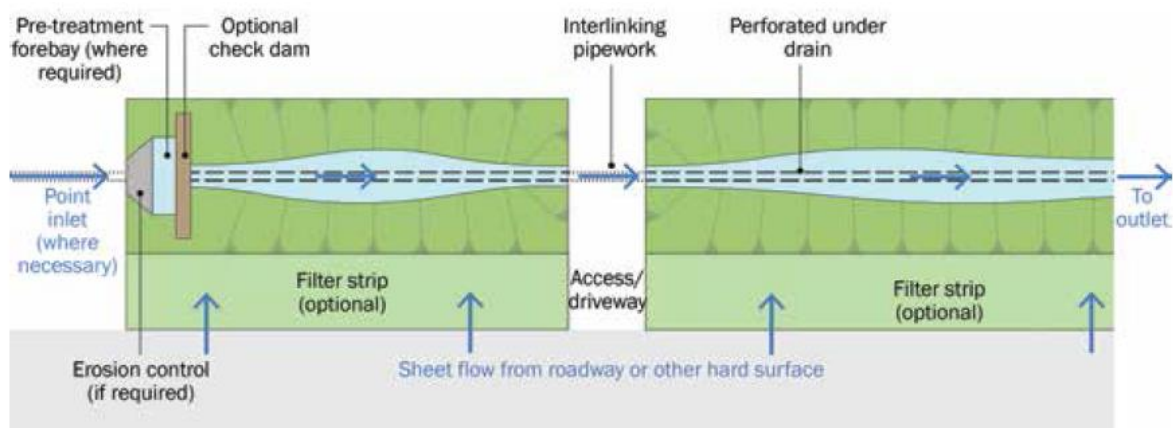
Τα φυτεμένα αυλάκια διήθησης (swales) είναι ανοιχτά αυλάκια μικρού βάθους, μικρής κλίσης πρανών και επίπεδου πυθμένα τα οποία συνήθως είναι φυτεμένα και εκτελούν την επεξεργασία, τη μεταφορά και την καθυστέρηση του νερού (Shafique & Kim 2015).

Συνήθως χρησιμοποιούνται για να λαμβάνουν την απορροή από δρόμους όπως στην Εικόνα 4.25, από μονοπάτια ή χώρους στάθμευσης και μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως το συμβατικό σύστημα αποχέτευσης ομβρίων με αγωγούς. Το εσωτερικό τους φυτεύεται με γρασίδι ή άλλη βλάστηση για να αυξάνεται η ικανότητα τους να φιλτράρουν το νερό. Επίσης, είναι αποδοτικά όσο αφορά στην επεξεργασία και στην αφαίρεση των ρυπαντών από το νερό, ειδικά εάν η βλάστηση στο εσωτερικό τους είναι πλήρως ανεπτυγμένη (Bäckström 2002).



Εικόνα 4.25: Αυλάκι διήθησης δίπλα από δρόμο στο Milton Keynes στο Ηνωμένο Βασίλειο. Παρατηρούμε ότι έχει κατασκευαστεί και λωρίδα φιλτραρίσματος. Πηγή (Yu 2013).

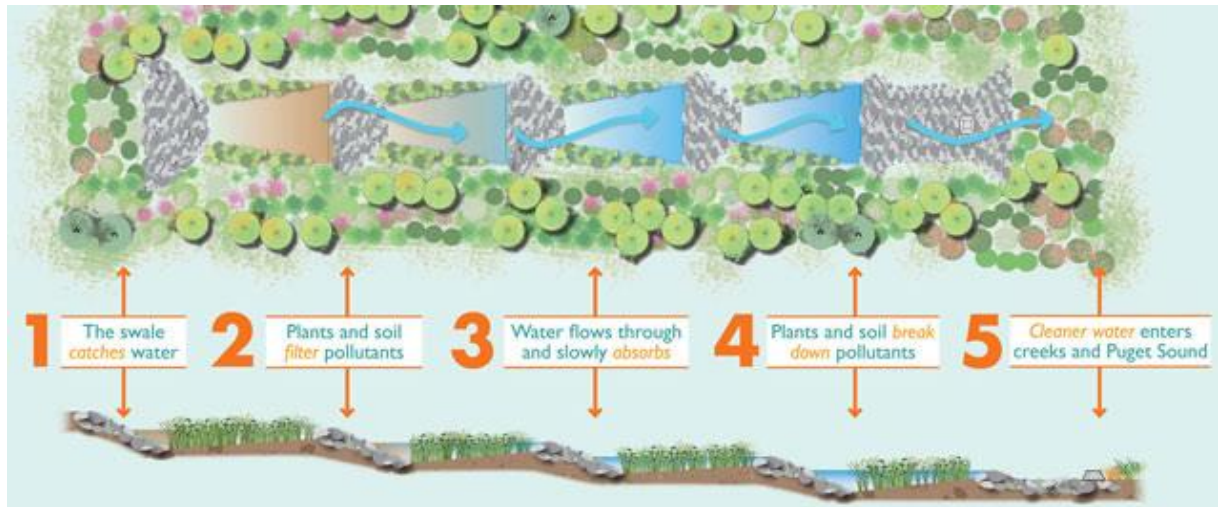
Τα φυτεμένα αυλάκια συνήθως είναι μέρος μιας σειράς διαδοχικών κατασκευών ΑΣΔΟ (Yu 2013). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, συνήθως κατασκευάζεται λωρίδα φιλτραρίσματος περιμετρικά τους, ως μέθοδος προ επεξεργασίας του νερού. Στην Εικόνα 4.26 φαίνεται μια τυπική κάτοψη αυλακιού με λωρίδα φιλτραρίσματος. Το νερό εισέρχεται στο αυλάκι είτε απευθείας από αγωγούς που καταλήγουν σε αυτά, είτε από την επιφανειακή απορροή που εισέρχεται από τα πρανή τους.



Εικόνα 4.26: Κάτοψη φυτεμένου αυλακιού διήθησης με λωρίδα φιλτραρίσματος. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

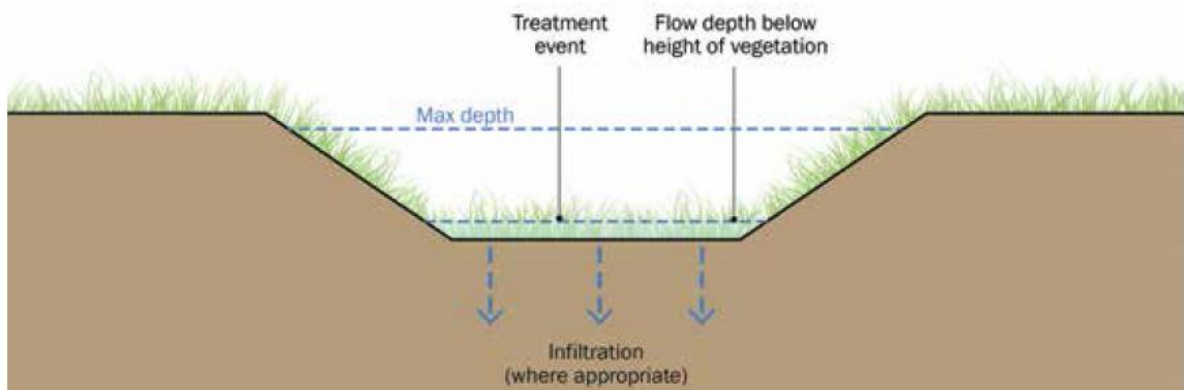
Στη συνέχεια γίνεται κατακράτηση της απορροής και η μείωση της ταχύτητας του νερού (Εικόνα 4.27), έτσι ώστε να αρχίσει η κατακάθιση, η διήθηση του νερού στο έδαφος και

η αποδόμηση των ρυπογόνων ουσιών. Η βλάστηση απομακρύνει διάφορες ουσίες ενώ οι οργανικές ρυπογόνες ουσίες αποδομούνται από τα μικρόβια και τα φυτά.



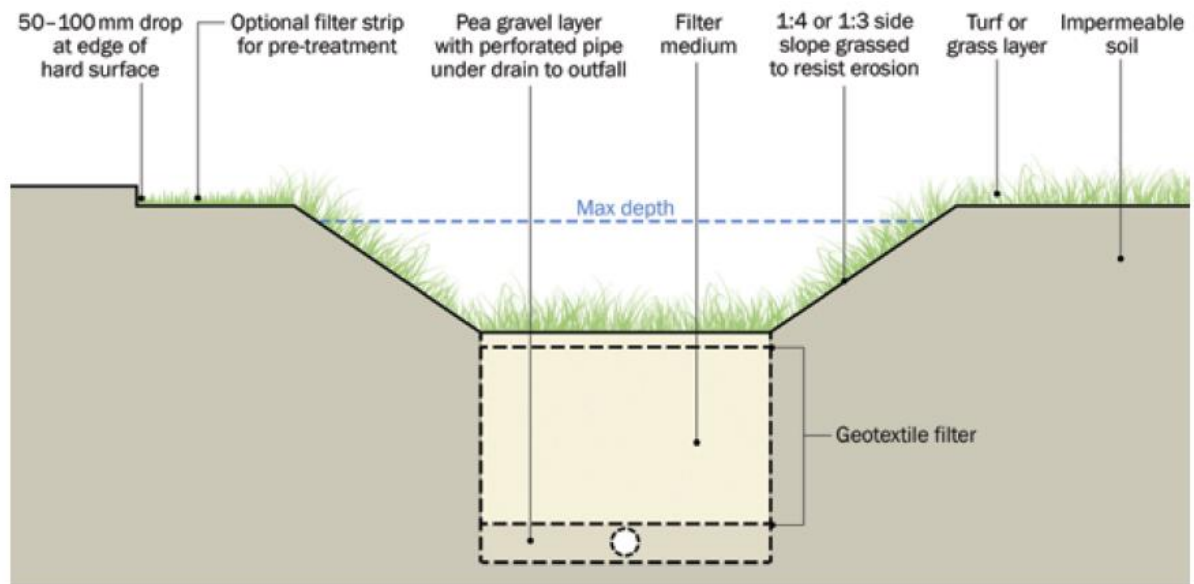
Εικόνα 4.27: Λειτουργίες ενός αυλακιού. Πηγή (The Watershed Company 2016).

Υπάρχουν τρεις τύποι φυτεμένων αυλακιών. Το βασικό αυλάκι, το ξηρό και το υγρό. Ο βασικός τύπος (Εικόνα 4.28) χρησιμοποιείται απλώς για να μεταφέρει το νερό στην επόμενη κατασκευή ΑΣΔΟ. Έτσι, κατακρατείται το νερό και καθυστερείται η απορροή.



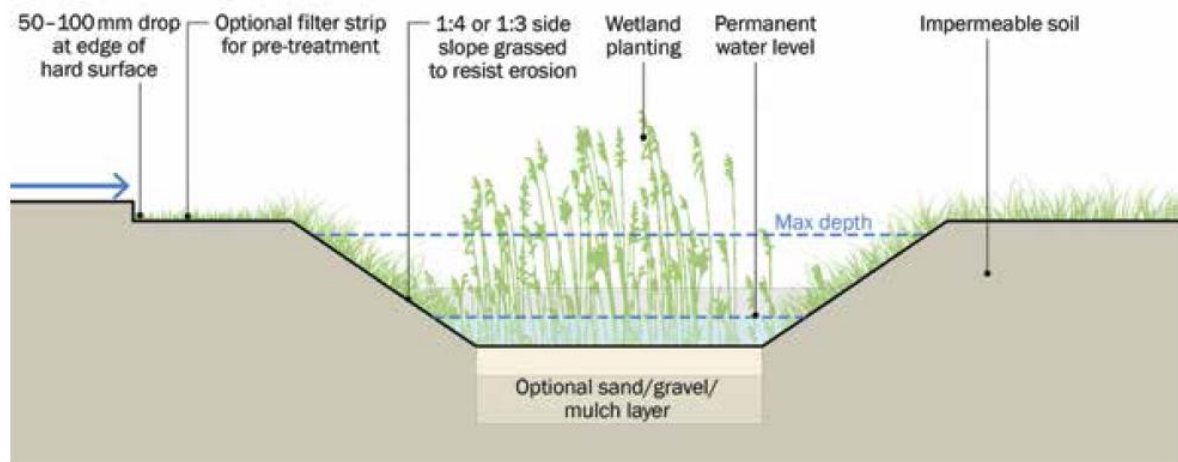
Εικόνα 4.28: Βασικό φυτεμένο αυλάκι. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Το ξηρό φυτεμένο αυλάκι (Dry Swale) περιλαμβάνει επιπρόσθετο φίλτρο στον πυθμένα του ώστε να διατηρεί αποθηκευτικό χώρο και να επεξεργάζεται το νερό (Εικόνα 4.29). Εάν χρειάζεται, τοποθετείται διάτρητη σωλήνα στον πυθμένα του, ώστε να διοχετεύεται το νερό με αργό ρυθμό σε κατάντη σύστημα.



Εικόνα 4.29: Ξηρό φυτεμένο αυλάκι. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Το υγρό αυλάκι (Wet swale) είναι παρόμοιο με το βασικό αυλάκι, όμως σχεδιάζεται έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι θα υπάρχει μόνιμα νερό στη βάση του.



Εικόνα 4.30: Υγρό αυλάκι. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Γενικά, τα φυτεμένα αυλάκια μειώνουν τους ρύπους της απορροής, χρειάζονται μικρή συντήρηση και μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε περιοχές που απαιτείται η κατασκευή φθηνού συστήματος μεταφοράς του νερού. Έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την ποιότητα του νερού, μειώνοντας την ταχύτητα ροής του νερού, το οποίο με τη σειρά του μειώνει την αιχμή ροής και επιτρέπει την κατακάθιση και το φιλτράρισμα του νερού (Lucke et al. 2014).

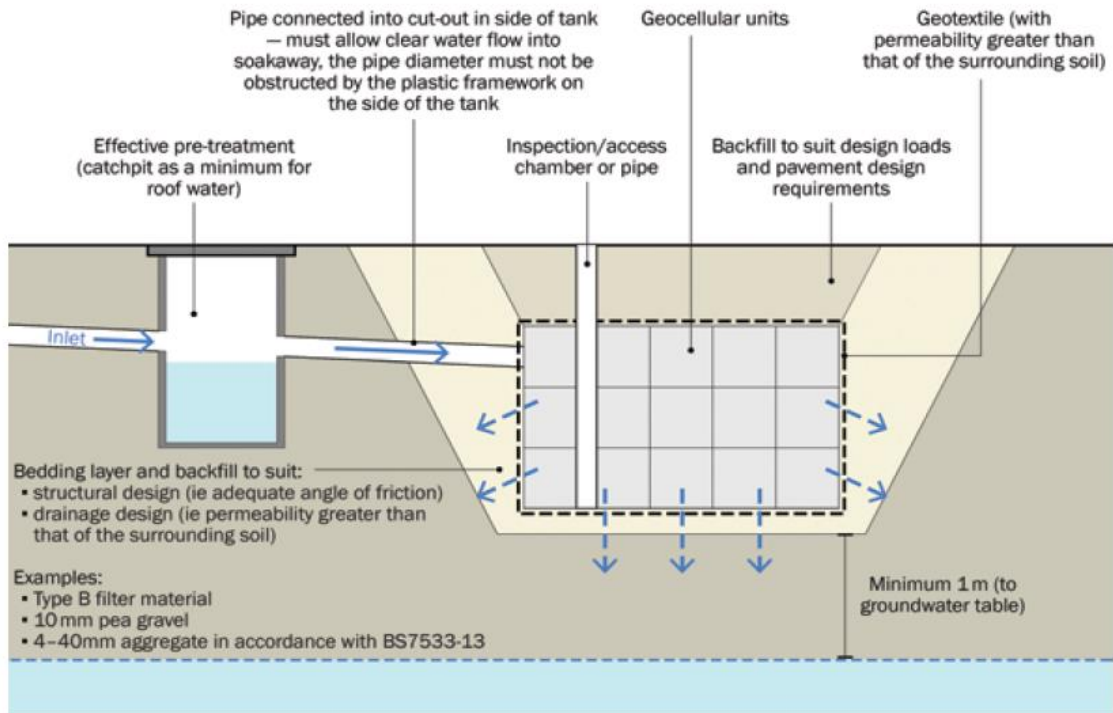


Εικόνα 4.31: Παραδείγματα εφαρμογής υγρού αυλακιού (αριστερά) και αυλακιού βιοκατακράτησης (δεξιά). Πηγή (Crawford & Groundwork Greater Nottingham 2013).

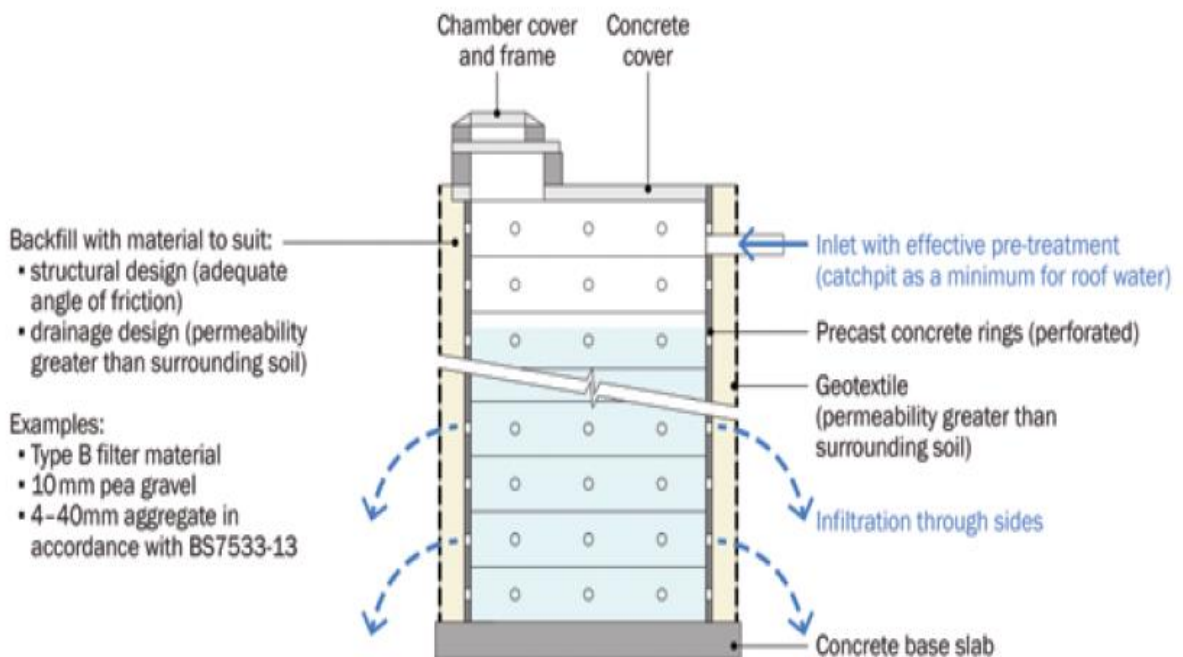
4.5 Τάφροι και Λάκκοι Διήθησης του Νερού (Infiltration Trenches and Soak aways)

Η κατασκευή λάκκων διήθησης σε ιδιωτικές περιουσίες ή δίπλα από δρόμους αποτελούν σε πολλές χώρες το πιο διαδεδομένο ΑΣΔΟ (Rauch et al. 2005). Ένας σημαντικός λόγος γι' αυτό είναι ότι οι κατασκευές αυτές είναι υπόγειες και δεν δεσμεύουν τον χώρο για άλλες χρήσεις (Roldin et al. 2012). Λόγω του μικρού χώρου που απαιτείται για την κατασκευή τους και της δυνατότητας σχετικά εύκολης προσαρμογής σε υφιστάμενους χώρους, η χρήση των λάκκων και των τάφρων διήθησης έχουν δυνατότητες να χρησιμοποιηθούν πιο πολύ στο μέλλον ως μέσο για την προσαρμογή των πόλεων στις κλιματικές αλλαγές (Bergman et al. 2011).

Οι λάκκοι διήθησης ομβρίων είναι εκσκαφές πληρωμένες με κατάλληλο υλικό, το οποίο διαθέτει κενά και επιτρέπει την προσωρινή αποθήκευση του νερού και στη συνέχεια την αργή διήθησή του προς το υπέδαφος. Ένας τυπικός ορθογώνιος λάκκος διήθησης φαίνεται στην Εικόνα 4.32 και ένας κυκλικός στην Εικόνα 4.33.



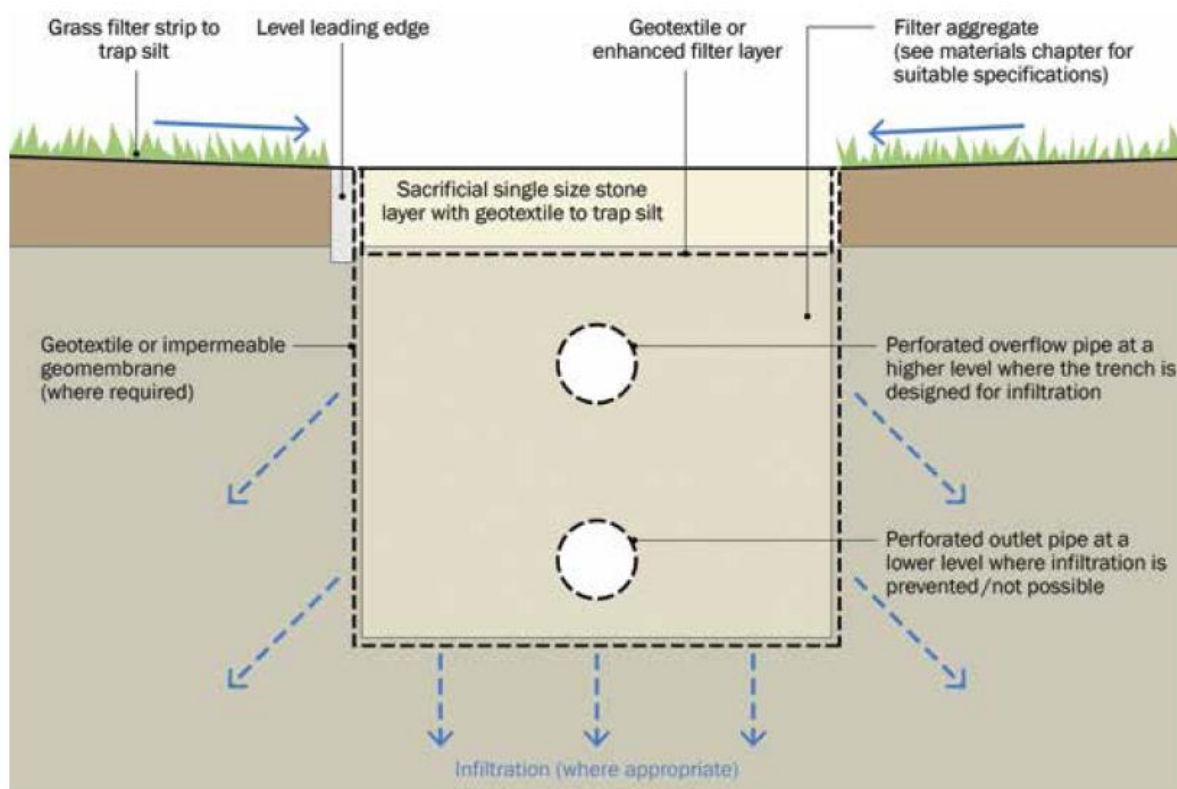
Εικόνα 4.32: Λεπτομέρεια ορθογώνιου λάκκου δήθησης και σύστημα προεπεξεργασίας. Πηγή (Kellagher et al. 2015).



Εικόνα 4.33: Τυπική λεπτομέρεια κυκλικού λάκκου δήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Οι τάφροι διήθησης είναι βασικά οριζόντιοι επιφανειακοί λάκκοι διήθησης. Γεμίζονται με πέτρες ή χαλίκια και δημιουργούν μια προσωρινή υπόγεια αποθήκη για την κατακράτηση, το φιλτράρισμα και την καθυστέρηση της απορροής. Μία τάφρος μπορεί να είναι επενδυμένη με γεώφασμα, γεωμεμβράνη είτε με κάποια αδιαπέραστη επένδυση, ανάλογα με την περίπτωση. Επίσης μπορεί να επιτρέπεται η διήθηση ή όχι, ανάλογα με την καταλληλότητα του νερού και του εδάφους που θα το υποδέχεται.

Πλεονέκτημα των τάφρων διήθησης έναντι των λάκκων είναι ότι κατασκευάζονται πιο επιφανειακά, σε μεγάλο εύρος εδαφών και μπορούν να διανέμουν το νερό σε μεγαλύτερη περιοχή. Η εισροή του νερού στην τάφρο θα πρέπει να γίνεται κατά όλο το μήκος της, όμως σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, μπορεί να τοποθετηθεί διάτρητη σωλήνα για να διανείμει το νερό σε όλο το μήκος του αυλακιού. Στην Εικόνα 4.34 φαίνεται μια τυπική τομή μίας τάφρου διήθησης.



Εικόνα 4.34: Τυπική τομή μιας τάφρου διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Οι τάφροι διήθησης, όπως και οι λάκκοι, αφαιρούν τα ρυπαντικά στοιχεία από το νερό φιλτράροντας το. Επίσης προωθούν τις διαδικασίες απορρόφησης και βιοαποικοδόμησης. Μια διάτρητη σωλήνα τοποθετείται κοντά στη βάση ώστε να

συλλέγει και να προωθεί το νερό κατάντη. Επίσης μπορεί να τοποθετείται και άλλος ένας σε πιο υψηλό επίπεδο ώστε να παρέχει υπερχείλιση σε περίπτωση ραγδαίων βροχοπτώσεων, είτε να κατανέμει το νερό σε όλο το μήκος. Συνήθως οι τάφροι διήθησης κατασκευάζονται δίπλα από αδιαπέρατες από το νερό επιφάνειες όπως είναι χώροι στάθμευσης ή δρόμοι και αυτοκινητόδρομοι (Εικόνα 4.35). Μπορούν να αντικαταστήσουν το συμβατικό σύστημα αγωγών και σχαρών συλλογής ομβρίων όταν κατασκευάζονται δίπλα από δρόμους.



Εικόνα 4.35: Παραδείγματα από τάφρους διήθησης.

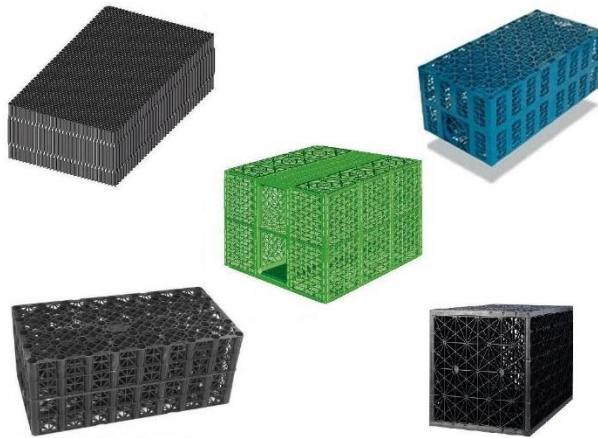
Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οικιστικές ή ακόμα και βιομηχανικές περιοχές και δεδομένου ότι είναι ανάλογα επενδυμένες, μπορούν να παραλαμβάνουν νερό από περιοχές με υψηλό ρίσκο ρύπανσης. Συνήθως τοποθετούνται σε σχετικά επίπεδες περιοχές ή ακολουθώντας μία ισοϋψή πορεία. Η μέγιστη κλίση τους δεν πρέπει να υπερβαίνει το 2% διότι η λειτουργία τους απαιτεί χαμηλή ταχύτητα ροής (Yu 2013).



Εικόνα 4.36: Τάφρος διήθησης σε κύριο δρόμο στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πηγή (Yu 2013).

Έχουν γίνει αρκετές μελέτες από τις οποίες έχει προκύψει ότι οι τάφροι και οι λάκκοι διήθησης έχουν σημαντική επίπτωση στη μείωση του όγκου της απορροής (Bergman et al. 2011; Xiao et al. 2007) και κατά συνέπεια στη μείωση των υπερχειλίσεων των αγωγών λόγω της εισροής ομβρίων (Roldin et al. 2012). Η απόδοση τους όμως εξαρτάται άμεσα από τις ιδιότητες του υπεδάφους.

Για την πλήρωση τους, εκτός από χαλίκι μιας διατομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πλαστικές διάτρητες δεξαμενές αποθήκευσης νερού (geocellular systems) (Εικόνα 4.37) οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγαλύτερης ποσότητας νερού διότι έχουν όγκο κενών περίπου 95% ενώ ταυτόχρονα μπορούν να το διηθούν στο υπέδαφος (Dickie et al. 2010).



Εικόνα 4.37: Πλαστικές διάτρητες δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων υδάτων. Πηγή (Sudsdrain 2012b).

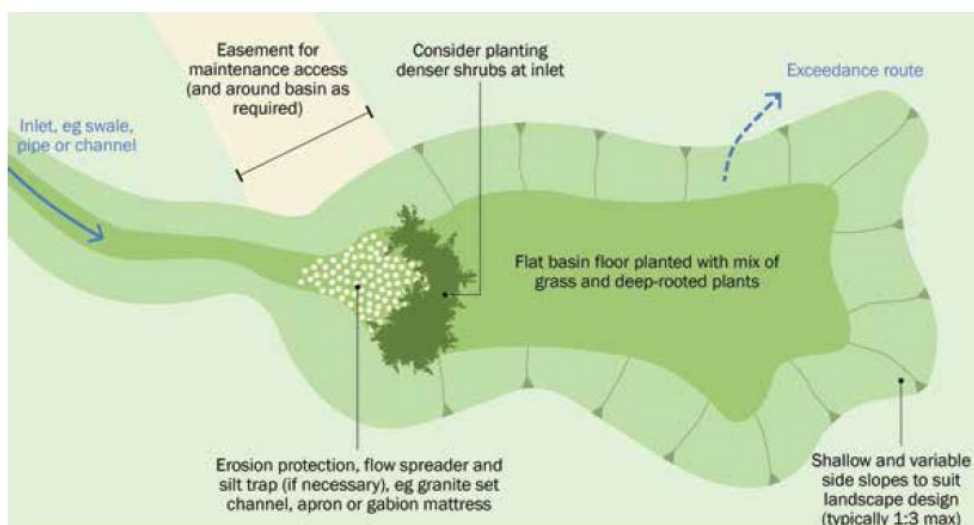
4.6 Δεξαμενές και Λίμνες (Basins, Ponds and Lakes)

Οι δεξαμενές και οι λίμνες ομβρίων είναι κοιλότητες του εδάφους που χρησιμοποιούνται κυρίως για να αποθηκεύσουν προσωρινά είτε μόνιμα το επιφανειακό νερό και στη συνέχεια είτε να το διηθήσουν στο έδαφος, είτε να το προωθήσουν κατάντη με αργό ρυθμό (Υαο 2013). Είναι φυτεμένες με γρασίδι ή άλλα φυτά τα οποία φιλτράρουν το νερό και αποδομούν τους ρύπους που περιέχονται σε αυτό. Ανάλογα με το μέγεθος τους, καλούνται δεξαμενές ή λίμνες. Στο παρελθόν, οι λίμνες σχεδιάζονταν με σκοπό την επιβράδυνση της ροής για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου πλημμυρών κατάντη. Σήμερα οι λίμνες έχουν επιπρόσθετες λειτουργίες, με σπουδαιότερη τη βελτίωση της ποιότητας του νερού και τη διαχείριση της απορροής.

Ανάλογα με το εάν υπάρχει μόνιμα νερό ή όχι διακρίνονται σε υγρές ή ξηρές και ανάλογα με τις λειτουργίες τους περιγράφονται ως διήθησης ή κατακράτησης. Μερικοί από τους όρους που συναντάμε στη διεθνή βιβλιογραφία είναι οι: infiltration basins, retention basins, detention basins, lakes, wetlands, ponds, retention ponds και wet extended detention ponds (Heal 2000).

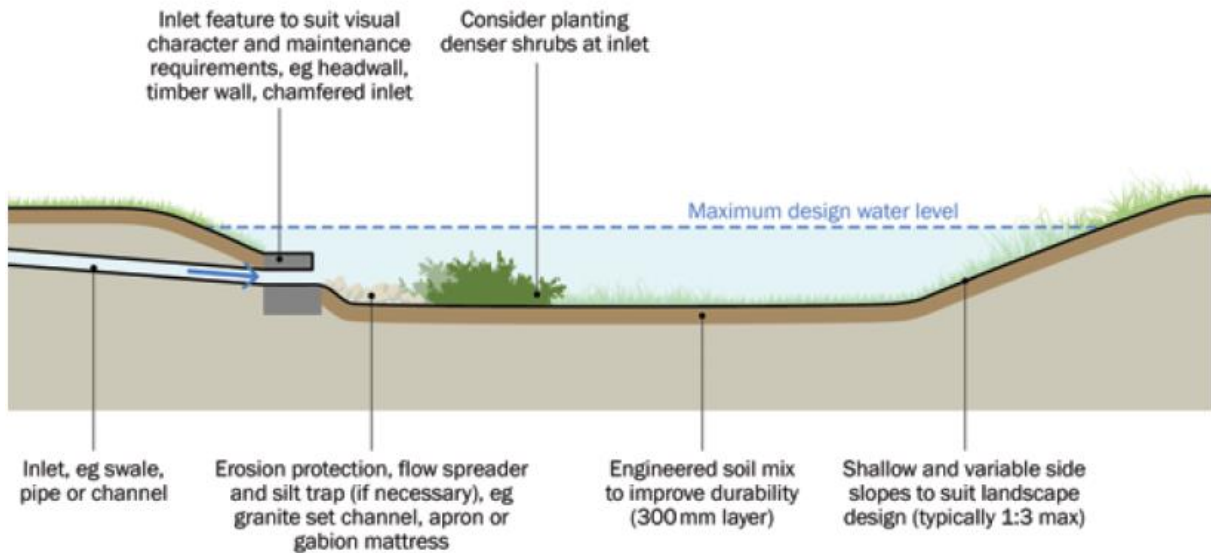
Το σχέδιο τους μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο. Μία λίμνη επίσης, μπορεί να αποτελείται από μια ενιαία υγρή λίμνη, ή από ένα σύστημα πολλών λιμνών. Ως επί το πλείστο είναι τεχνητές λίμνες οι οποίες έχουν κατασκευαστεί με στόχο να μιμηθούν τις φυσικές διεργασίες των φυσικών λιμνών και των υδροτόπων. Σε σπάνιες περιπτώσεις, έχει γίνει αναδιαμόρφωση φυσικών λιμνών ώστε να διαχειρίζονται τα όμβρια ύδατα (Heal 2000).

Οι υγρές λίμνες λειτουργούν ως δεξαμενές διήθησης αποθηκεύουν προσωρινά το νερό, μειώνοντας έτσι την απορροή του στους κατάντη αποδέκτες. Στη συνέχεια γίνεται η διήθηση του νερού στο έδαφος και η επεξεργασία του, μέσω της βλάστησης. Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου δεν έχουν νερό αποθηκευμένο (Yao 2013). Στην Εικόνα 4.38 παρουσιάζεται μια τυπική κάτοψη μιας δεξαμενής διήθησης, όπου φαίνεται η είσοδος των νερών, στην οποία θα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση του πυθμένα.



Εικόνα 4.38: Κάτοψη μιας τυπικής δεξαμενής διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Στην Εικόνα 4.39 όπου φαίνεται η τομή της δεξαμενής αυτής, σημειώνεται η μέγιστη επιτρεπτή στάθμη νερού. Για την περίπτωση υπέρβασης της στάθμης αυτής, μπορεί να τοποθετηθεί κατασκευή υπερχείλισης. Τα πρανή επίσης, δεν πρέπει να έχουν μεγαλύτερη κλίση από 1:3.



Εικόνα 4.39: Τυπική τομή μιας δεξαμενής διήθησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Οι ξηρές λίμνες λειτουργούν ως δεξαμενές κατακράτησης (Εικόνα 4.40). Συνήθως είναι ξηρές ενώ παραλαμβάνουν το νερό της βροχόπτωσης και είτε το διηθούν αργά στο υπέδαφος, είτε το μεταφέρουν με αργό ρυθμό σε κατάντη σύστημα, ώστε να μειώσουν την αιχμή της βροχόπτωσης.

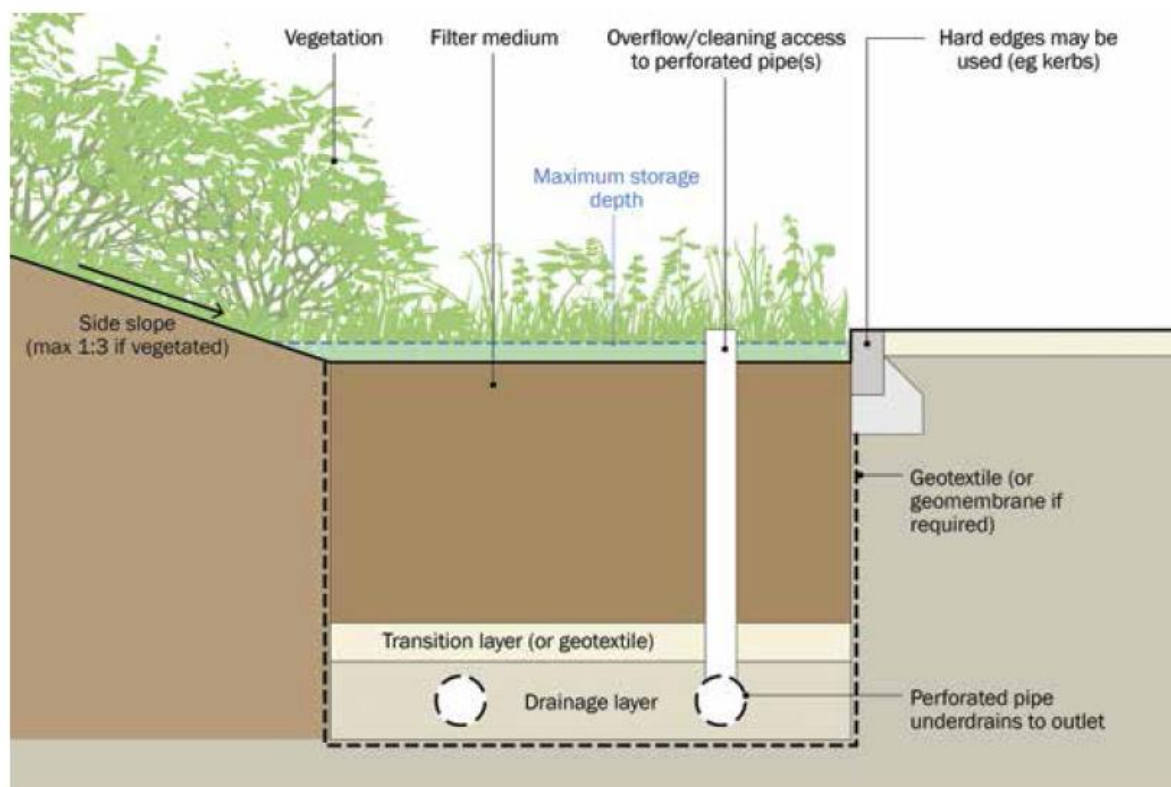


Εικόνα 4.40: Μια λίμνη κατακράτησης στη Χιλή. Πηγή (Miguez et al. 2012)

Οι δεξαμενές και οι λίμνες ομβρίων αναβαθμίζουν το περιβάλλον, καθώς δημιουργούν χώρους πρασίνου για τους πολίτες. Επίσης ενισχύουν τη βιοποικιλότητα και σε μερικές περιπτώσεις προσφέρουν χώρο για δραστηριότητες όπως εκδρομικούς χώρους (Charlesworth 2010).

4.7 Συστήματα Βιοκατακράτησης (Bioretention Systems)

Τα συστήματα βιοκατακράτησης, είναι συστήματα που μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο περιβάλλον, με διάφορα σχήματα, υλικά, φυτά και διαστάσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οικιστικές ή βιομηχανικές περιοχές και συνήθως φυτεύονται με θάμνους, πολυετή φυτά ή δέντρα. Τα πλεονεκτήματα τους είναι η μείωση της επιφανειακής απορροής, η αύξηση της επαναφόρτισης του υπόγειου ορίζοντα και η επεξεργασία του νερού στην πηγή (Dietz 2007). Σχεδιάζονται έτσι ώστε να λαμβάνουν το νερό από συνηθισμένες βροχοπτώσεις, μέσω των πρανών ή άλλου μέσου (σχάρες, αγωγούς). Το νερό αφού εισέλθει, λιμνάζει αρχικά στην επιφάνεια και μετά εισέρχεται σιγά σιγά στο έδαφος (Εικόνα 4.41). Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές συστημάτων βιοκατακράτησης οι οποίες θα αναλυθούν στις επόμενες παραγράφους.

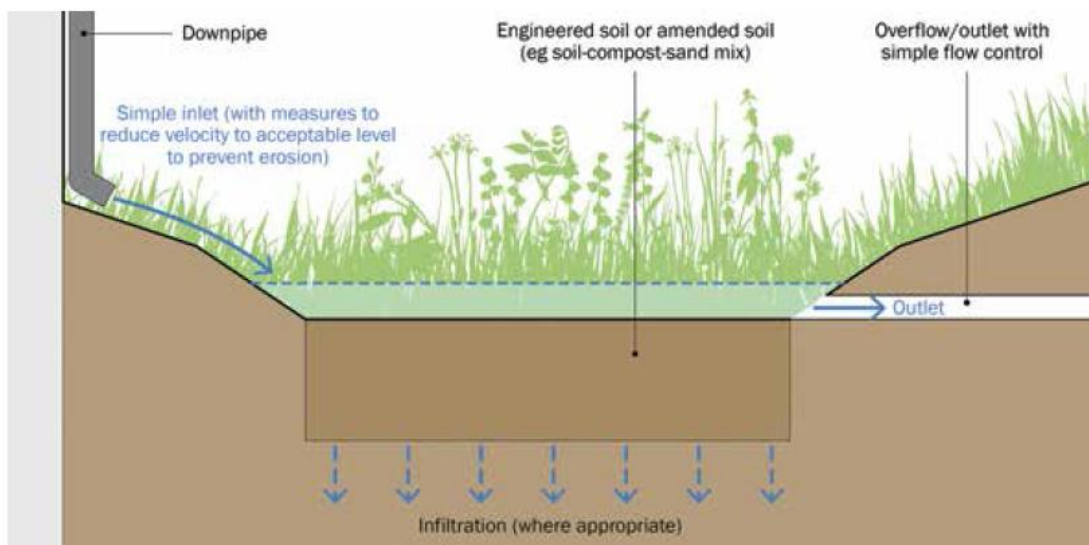


Εικόνα 4.41: Τυπική τομή ενός συστήματος Βιοκατακράτησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Έχει αποδειχθεί από αρκετές μελέτες ότι τα συστήματα βιοκατακράτησης μπορούν να διαχειριστούν με επιτυχία την απορροή του νερού της βροχής. Οι Heasom et al. (2006) διαπίστωσαν την απουσία επιφανειακού νερού κατά τη διάρκεια συνηθισμένων βροχοπτώσεων μετά την εφαρμογή τους. Οι Hunt et al. (2008) παρατήρησαν μείωση της αιχμής απορροής κατά 96% στις βροχοπτώσεις που ήταν μικρότερες από 4 cm ανά ώρα. Ο Davis (2008) παρατήρησε ότι ποσοστό 18% από 49 βροχοπτώσεις απορροφήθηκαν πλήρως από συστήματα βιοκατακράτησης. Επίσης, οι αιχμές απορροής μειώθηκαν κατά 44-63% κάτι που σημαίνει ότι η απορροή καθυστέρησε σημαντικά. Οι Li et al. (2009) μελέτησαν την υδρολογική συμπεριφορά έξι συστημάτων βιοκατακράτησης και παρατήρησαν ότι μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις της αστικοποίησης στον υδρολογικό κύκλο, ενώ ταυτόχρονα σημείωσαν ότι τα συστήματα βιοκατακράτησης συμπεριφέρονται άριστα κατά τη διάρκεια μικρών βροχοπτώσεων αλλά η επίδοσή τους μειώνεται κατά τη διάρκεια μεγαλύτερων.

4.7.1 Κήποι Βροχής (Rain Gardens)

Ένας κήπος βροχής είναι μία κοιλότητα στην οποία το έδαφος έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα από ότι το έδαφος που την περιβάλλει και η οποία παρέχει αποθήκευση του νερού και γρήγορη διήθηση του στο έδαφος. Σε αυτούς διοχετεύεται το νερό από αδιαπέρατες επιφάνειες, ενώ σχεδιάζονται ώστε να επιτρέπουν την κατακράτηση κάποιας ποσότητας νερού (Abi Aad et al. 2010) έως και 15 εκατοστών στην επιφάνεια τους. Στην Εικόνα 4.42 παρουσιάζεται μια απλή τομή ενός κήπου βροχής.



Εικόνα 4.42: Τομή ενός απλού κήπου βροχής. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Το έδαφος που βρίσκεται κάτω από τον κήπο βροχής κατακρατεί μεγάλο μέρος των ρύπων επιτρέποντας στο σχετικά καθαρό νερό να εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφόρα. Για το λόγο αυτό καταλληλότερα εδάφη για την κατασκευή των εν λόγω κήπων είναι αυτά με τη μεγάλη διηθητικότητα. Οι κήποι βροχής, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.43 μπορούν να ενσωματώνονται στο τοπίο και ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χώρου, ενώ οποιοσδήποτε κήπος μπορεί να μετατραπεί σε κήπο βροχής.



Εικόνα 4.43: Παραδείγματα κήπων βροχής κατά την κατασκευή (αριστερά) και στην τελική τους μορφή (δεξιά). Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Η χρήση των κήπων βροχής όμως, δεν περιορίζεται μόνο σε κήπους ιδιωτικών υποστατικών. Σε αρκετές πόλεις ανά τον κόσμο, έχουν διαμορφωθεί κήποι βροχής κατά μήκος των νησίδων (μερικά παραδείγματα δίνονται στην Εικόνα 4.44 και στην Εικόνα 4.45) ή παρτέρια κατά μήκος των πεζοδρομίων (Εικόνα 4.46).



Εικόνα 4.44: Αυλάκι βιοκατακράτησης σε νησίδα μεταξύ δρόμων (αριστερά), το οποίο συνδέεται με αυλάκι φυτεμένο με γρασίδι (δεξιά). Πηγή (Kazemi et al. 2011).



Εικόνα 4.45: Αυλάκι βιοκατακράτησης σε νησίδα μεταξύ δρόμων (αριστερά), το οποίο συνδέεται με κήπους βροχής (δεξιά). Πηγή (Kazemi et al. 2011).



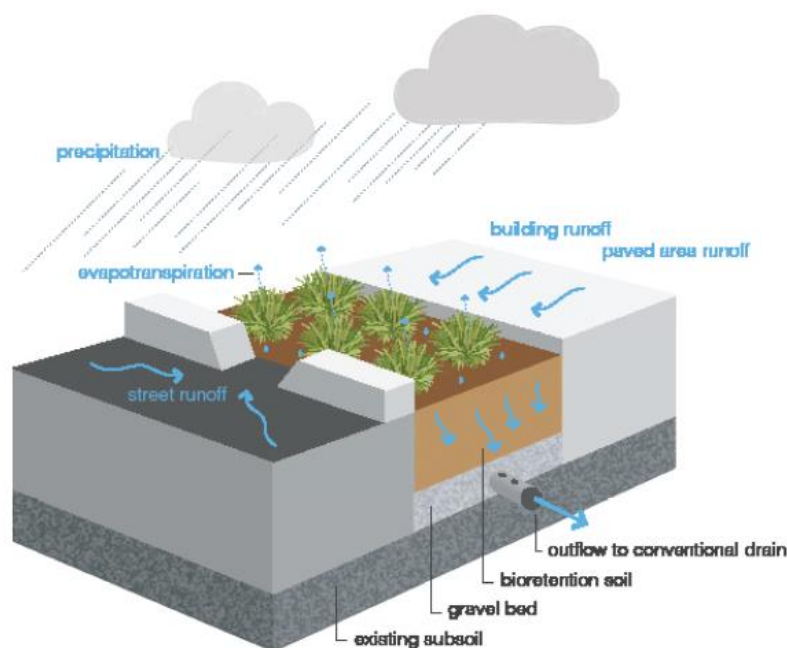
Εικόνα 4.46: Κήπος βροχής σε πεζόδρομο στο Nottingham. Πηγή (Crawford & Groundwork Greater Nottingham 2013).

Η παρουσία τους συμβάλλει τόσο στην απομάκρυνση των όμβριων υδάτων από τους δρόμους, όσο και στην αισθητική αναβάθμιση της εικόνας των πόλεων. Οι κήποι βροχής παρεμβάλλονται μεταξύ του πεζοδρομίου (όπου έχει επαρκές πλάτος) και του δρόμου και παραλαμβάνουν μέρος της απορροής του οδοστρώματος (Εικόνα 4.47).



Εικόνα 4.47: Τρεις διαφορετικοί κήποι βροχής στον ίδιο δρόμο. Πηγή(Church 2015).

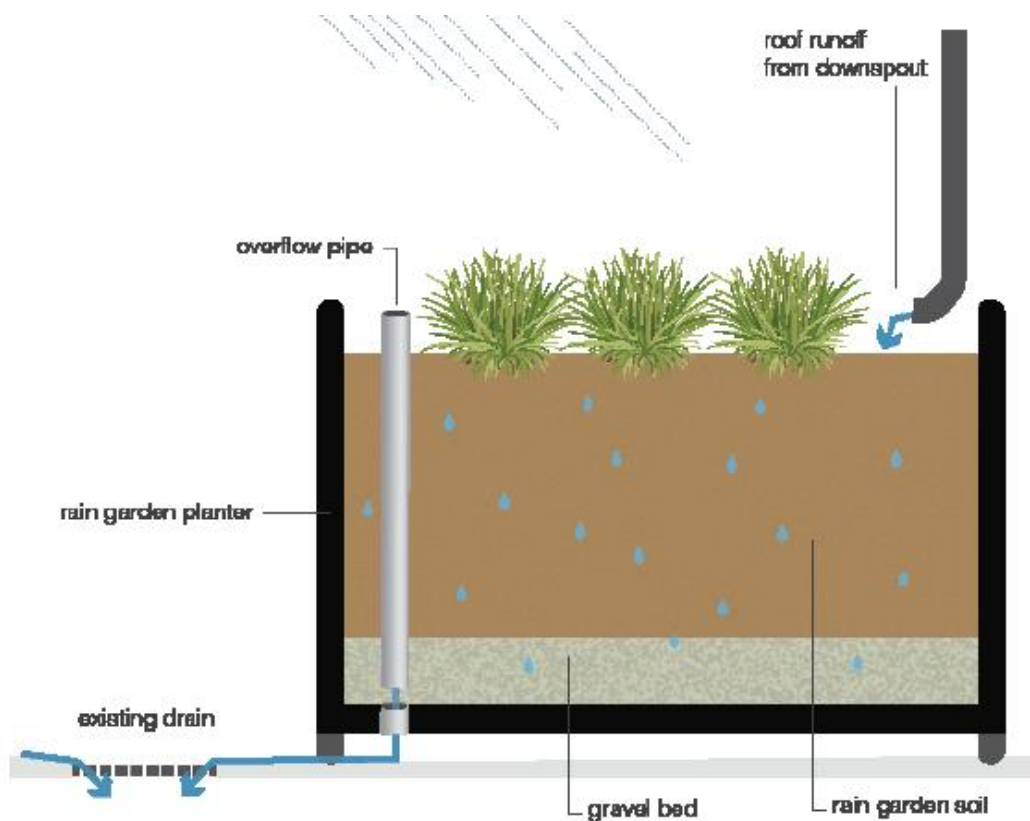
Το εδαφικό υλικό και τα φυτά των κήπων βροχής συγκρατούν μέρος των ρύπων που μεταφέρει το βρόχινο νερό από το οδόστρωμα (π.χ. βαριά μέταλλα, λάδια, πετρέλαιο). Το πλεονάζον νερό, σε περιπτώσεις ισχυρών βροχοπτώσεων, οδηγείται μέσω υπερχειλίσσης στο δίκτυο αποχέτευσης (Bray et al. 2012). Τυπική τομή ενός κήπου βροχής δίπλα από δρόμο, φαίνεται στην Εικόνα 4.48.



Εικόνα 4.48: Τυπική τομή κήπου βροχής σε δρόμο. Πηγή (Bray et al. 2012).

Το κόστος των κήπων βροχής είναι σχετικά χαμηλό και κυμαίνεται από 16 ως 98.5 €/m² της περιοχής απορροής (Κατσιφαράκης et al. 2013). Βέβαια, το κόστος εξαρτάται πάντα από τις συνθήκες της περιοχής στην οποία θα κατασκευαστεί, από τον τύπο του εδάφους και από οποιεσδήποτε άλλες κατασκευές πρέπει να γίνουν ώστε να διοχετευτούν τα νερά μέσα στον κήπο.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος, οι κήποι βροχής μπορούν να κατασκευαστούν πιο ψηλά από το επίπεδο του εδάφους. Σε αυτή την περίπτωση καλούνται ανυψωμένοι κήποι βροχής (Raised planters) και είναι εγκιβωτισμένα συστήματα σε σκυρόδεμα, γεμίζονται με χώμα και φυτεύονται. Στον πυθμένα τους τοποθετείται μια διάτρητη σωλήνα η οποία λαμβάνει το φιλτραρισμένο νερό και το οδηγεί στην έξοδο (Εικόνα 4.49), η οποία συνήθως είναι το δίκτυο ομβρίων (Kellagher et al. 2015).



Εικόνα 4.49: Τομή ενός ανυψωμένου κήπου βροχής. Πηγή (Bray et al. 2012).

Οι ανυψωμένοι κήποι βροχής θεωρούνται σχετικά φθηνές κατασκευές. Για την εγκατάσταση σε μια ανεπτυγμένη περιοχή υπολογίζεται ότι κοστίζει περίπου 20 €/m² της περιοχής που απορρέει σε αυτόν (New York State 2007).

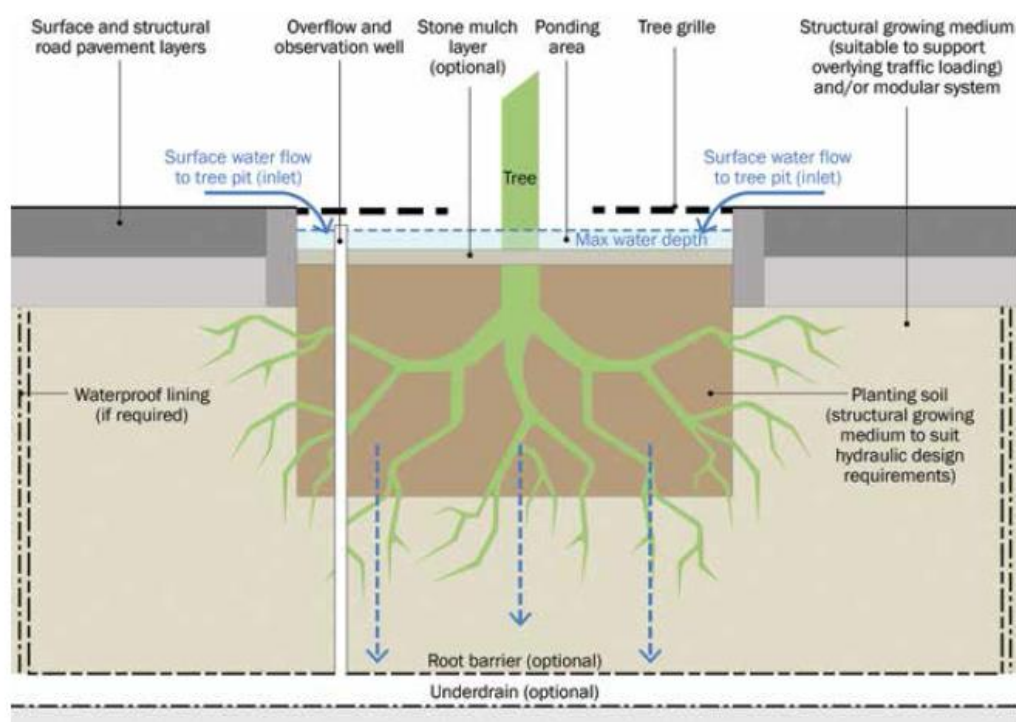
4.7.2 Δεντροδόχοι Βιοκατακράτησης

Τα δέντρα αυξάνουν την ποιότητα ζωής της πόλης βελτιώνοντας τον αέρα, μειώνοντας την απορροή των ομβρίων, αποθηκεύοντας και αποδημώντας τον άνθρακα, παρέχοντας σκιά και μειώνοντας το φαινόμενο της θερμικής νησίδας. Επίσης ενισχύουν τη βιοποικιλότητα παρέχοντας τροφή και σπίτι για την αστική πανίδα (Mullaney et al. 2015).

Η ανάπτυξη των ριζών των δέντρων μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές όπως το σπάσιμο και το ανασήκωμα των πεζοδρομίων (Blunt 2008), το οποίο εμφανίζεται πολύ συχνά στις σύγχρονες πόλεις, κάτι που έχει επισημανθεί ως ένας από τους συνηθέστερους λόγους αφαίρεσης δέντρων από τις πόλεις (Kirkpatrick et al. 2012). Οι

ζημιές αυτές οφείλονται στην ανάπτυξη των ριζών σε μικρό βάθος και η εξάπλωση τους διαμέσου της βάσης των πεζοδρομίων.

Μια λύση για τα παραπάνω προβλήματα, η οποία έχει σημαντικά οφέλη στη διαχείριση των ομβρίων υδάτων, είναι η κατασκευή δενδροδόχων βιοκατακράτησης. Αυτές είναι ειδικά διαμορφωμένες δενδροδόχοι, κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να κατακρατούν το νερό που οδηγείται σε αυτές και να διεισδύει στο έδαφος (Εικόνα 4.50). Το νερό αποθηκεύεται σε μεγαλύτερο βάθος και οι ρίζες του δέντρου αναπτύσσονται πιο βαθιά.



Εικόνα 4.50. Σκαριφήματα δεντροδόχου βιοκατακράτησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Από μελέτες έχει προκύψει ότι οι δενδροδόχοι βιοκατακράτησης συμβάλλουν στην άμβλυνση των πλημμυρικών αιχμών, αποθηκεύοντας προσωρινά ένα μέρος του νερού που απορρέει επιφανειακά. Επίσης, μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα στον υφιστάμενο αστικό ιστό (Charlesworth 2010).

Το κόστος κατασκευής δενδροδόχων βιοκατακράτησης, αν αυτές είναι τυποποιημένες, είναι αρκετά υψηλό. Στις ΗΠΑ οι τιμές κυμαίνονται περίπου από 2.500 έως 5.500 € για κάθε δενδροδόχο.

4.8 Κόστος

Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (EPA 2007) εξέτασε το κόστος των ΑΣΔΟ που εφαρμόστηκαν σε 17 αναπτύξεις στο έδαφος της. Σε αυτές εφαρμόστηκαν διάφορα ΑΣΔΟ. Στον Πίνακα 4.4 προσδιορίστηκε το κόστος της εφαρμογής ΑΣΔΟ έναντι του κόστους που θα προέκυπτε εάν κατασκευάζονταν συμβατικά συστήματα διαχείρισης ομβρίων, ενώ στον Πίνακα 4.5 φαίνονται ποια ΑΣΔΟ εφαρμόστηκαν σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 4.4: Σύγκριση κόστους της εφαρμογής ΑΣΔΟ και συμβατικών. Οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται όταν το κόστος των ΑΣΔΟ ήταν υψηλότερο. Πηγή (EPA 2007).

Project - Description	Conventional Development Cost (US \$)	LID Cost (US \$)	Cost Difference (US \$)	Percent Difference (%)
2nd Avenue SEA Street, Seattle, Washington	868.803	651.548	217.255	25%
Auburn Hills, southwestern Wisconsin	2.360.385	1.598.989	761.396	32%
Bellingham City Hall, Washington (Parking Lot Retrofits)	27.600	5.600	22.000	80%
Bloedel Donovan Park, Bellingham, Washington	52.800	12.800	40.000	76%
Gap Creek, Sherwood, Arkansas	4.620.600	3.942.100	678.500	15%
Garden Valley, Pierce County, Washington	324.400	260.700	63.700	20%
Kensington Estates, Pierce County, Washington	765.700	1.502.900	-737.200	-96%
Laurel Springs, Jackson, Wisconsin	1.654.021	1.149.552	504.469	30%
Mill Creek, Kane County, Illinois	12.510	9.099	3.411	27%
Prairie Glen, Germantown, Wisconsin	1.004.848	599.536	405.312	40%
Somerset, Prince George's County, Maryland	2.456.843	1.671.461	785.382	32%
Tellabs Corporate Campus, Naperville, Illinois	3.162.160	2.700.650	461.510	15%

Πίνακας 4.5: Συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν σε εφαρμογές όπου έγινε σύγκριση κόστους της εφαρμογής ΑΣΔΟ και συμβατικών. Πηγή (EPA 2007).

Project - Description	Bioretention	Cluster building	Reduced impervious area	Swales	Permeable pavement	Vegetated landscaping	Wetlands	Green roofs
2nd Avenue SEA Street, Seattle, Washington	✓		✓	✓				
Auburn Hills, southwestern Wisconsin	✓		✓	✓				
Bellingham City Hall, Washington (Parking Lot Retrofits)	✓		✓	✓				
Bloedel Donovan Park, Bellingham, Washington	✓		✓	✓				
Gap Creek, Sherwood, Arkansas			✓			✓		
Garden Valley, Pierce County, Washington	✓	✓		✓	✓		✓	
Kensington Estates, Pierce County, Washington		✓	✓		✓	✓	✓	
Laurel Springs, Jackson, Wisconsin	✓	✓	✓	✓				
Mill Creek, Kane County, Illinois		✓	✓	✓				
Prairie Glen, Germantown, Wisconsin	✓		✓	✓		✓		
Somerset, Prince George's County, Maryland	✓			✓				
Tellabs Corporate Campus, Naperville, Illinois	✓			✓		✓	✓	

Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η εφαρμογή ΑΣΔΟ ήταν πιο οικονομική, ενώ επέφερε και περιβαλλοντικά οφέλη.

Όσο αφορά στις δεξαμενές συλλογής ομβρίων, ανάλογα με τη χωρητικότητα, το διαθέσιμο χώρο και τα χαρακτηριστικά της κάθε εφαρμογής, είναι εφικτή η χρήση διαφορετικών τύπων δεξαμενών, με το ανάλογο κόστος.

	Material	Cost Low -> High	Installation Hard -> Easy	Longevity Short -> Long	Durability Low -> High	Maintenance Access Hard -> Easy	Best use Capacity gallons
Underground	Fiberglass	■■■■■	■■■□□	■■■■□	■■□□□	■■■■□	5,000 to 30,000
	Polyethylene	■□□□□	■■■■■	■■■■□	■■■□□	■■□□□	<5,000
	Steel Reinforced Polyethylene (SRPE)	■■■□□	■■■■□	■■■■■	■■■■■	■■■■□	10,000 to 100,000+
	Plastic Crates	■■■□□	■■■□□	■■■□□	■□□□□	■□□□□	5,000 to 50,000+ With light loading
	Concrete	■■■■■	■■□□□	■■■■□	■■□□□	■■■■□	30,000+ With high loading
	Fabricated Steel	■■■■□	■■■□□	■■■□□	■■■□□	■■■■□	Not recommen ded
	Waterproof Corrugated Metal	■■□□□	■■■■□	■■■□□	■■■■■	■■■■□	5,000 to 30,000
Above Ground	Monolithic	■■■□□	■■■■□	■■■■■	■■■■□	■■■■■	Up to 20,000
	Plate Assembled On- Site	■■■□□	■■□□□	■■■■■	■■■■□	■■■■■	15,000+

*During transport, staging and installation

Εικόνα 4.51: Σύγκριση τύπων δεξαμενών συλλογής ομβρίων. Πηγή (Kowalsky & Thomason 2011).

Κεφάλαιο 5

Αξιολόγηση Εφαρμογής ΑΣΔΟ

Σε Περιοχές της Λεμεσού

Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να αξιολογήσει κατά πόσο είναι εφικτό να υιοθετηθούν και να κατασκευαστούν τα ΑΣΔΟ που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4 στην περιοχή μελέτης. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται υπολογισμοί για διαφορετικά ΑΣΔΟ και προτάσεις για τη χρήση τους.

5.1 Εφαρμογή Μεθόδων Συλλογής και

Επαναχρησιμοποίησης Βρόχινου Νερού

Η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελεί μια από τις πιθανές λύσεις για τη μείωση των πλημμυρικών αιχμών αλλά και για την εξοικονόμηση του νερού. Σε ένα αστικό περιβάλλον ενδείκνυται η συλλογή του νερού να γίνεται από τις ταράτσες των κτιρίων, καθώς το επίπεδο ρύπανσης των νερών αυτών είναι μικρότερο. Λόγω του κλίματος της περιοχής μελέτης, στο οποίο η ζήτηση νερού αυξάνεται ραγδαία κατά τους θερινούς μήνες στους οποίους δεν εμφανίζονται βροχοπτώσεις, είναι γεγονός ότι για να επαρκεί το νερό που έχει συλλεχθεί κατά τη διάρκεια του έτους, η δεξαμενή συλλογής θα πρέπει να έχει μεγαλύτερες διαστάσεις από μια αντίστοιχη εφαρμογή σε μια χώρα με περισσότερες βροχοπτώσεις.

5.1.1 Εφαρμογή σε Νεόδμητη Κατοικία

Στην παράγραφο αυτή θα προσπαθήσουμε να διαπιστώσουμε εάν είναι βιώσιμη η εγκατάσταση συστήματος συλλογής και επεξεργασίας νερού σε μια νεόδμητη κατοικία στη Λεμεσό. Για τον προσδιορισμό του τύπου του συστήματος και της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης, πρέπει λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως η διαθέσιμη ποσότητα βρόχινου νερού η οποία εξαρτάται από το ύψος των βροχοπτώσεων στην εξεταζόμενη περιοχή, η ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί (ζήτηση), η περιοχή

απορροής και ο σκοπός της αποθήκευσης (εξοικονόμηση νερού ή διαχείριση της πλημμύρας). Το νερό που θα συλλέγεται θα χρησιμοποιείται για τα καζανάκια της τουαλέτας και για το πότισμα των κήπων.

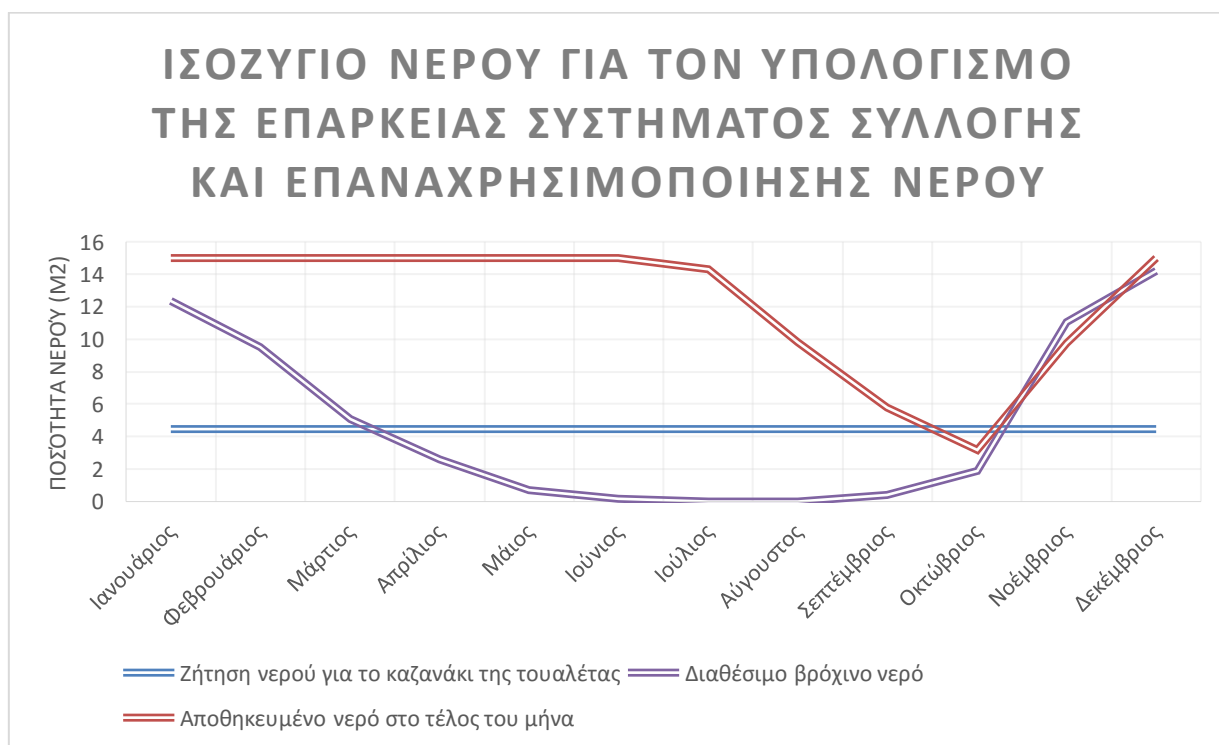
Για τους υπολογισμούς παίρνουμε ως δεδομένο ότι έχουμε ένα νεόδμητο σπίτι στη Λεμεσό εμβαδού 150 m² με επίπεδη οροφή, στο οποίο θα κατοικούν 4 άτομα. Για την τουαλέτα θεωρήθηκε ότι καταναλώνονται περίπου 9 λίτρα νερού κάθε φορά που χρησιμοποιείται το καζανάκι και ότι κάθε άτομο χρησιμοποιεί το καζανάκι περίπου 4 φορές την ημέρα (Σκούλος et al. 2003). Για το παραπάνω σπίτι η ημερήσια κατανάλωση νερού για το καζανάκι της τουαλέτας ανέρχεται σε 144 lt την ημέρα. Για τους υπολογισμούς δημιουργήθηκε φύλλο εργασίας στο πρόγραμμα Excel, το οποίο επισυνάπτεται στο Παράρτημα Δ.

Από τις παρατηρήσεις του Τμήματος Μετεωρολογίας Κύπρου, προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για την περίοδο 1961-2005 είναι 407,5 mm και η μέση ετήσια βροχόπτωση κατανέμεται κατά τη διάρκεια του έτους και παρουσιάζεται στην τρίτη στήλη του Πίνακα 5.1 (Μέση μηνιαία βροχόπτωση).

Πίνακας 5.1: Ισοζύγιο νερού σε κατοικία με σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης

Μήνας	Ζήτηση νερού για το καζανάκι της τουαλέτας	Μέση μηνιαία Βροχόπτωση	Διαθέσιμο βρόχινο νερό	Αποθηκευμένο νερό στο τέλος του μήνα	Νερό για τη συμπλήρωση των αναγκών
	m ³	mm/m ²	m ³	m ³	m ³
Ιαν.	4,464	86,7	12,4	15,0	0,0
Φεβ.	4,464	66,9	9,5	15,0	0,0
Μάρ.	4,464	35,8	5,1	15,0	0,0
Απρ.	4,464	18,4	2,6	15,0	0,0
Μάι.	4,464	5,1	0,7	15,0	0,0
Ιούν.	4,464	1,4	0,2	15,0	0,0
Ιούλ.	4,464	0	0,0	14,3	0,0
Αύγ.	4,464	0	0,0	9,8	0,0
Σεπ.	4,464	2,9	0,4	5,8	0,0
Οκτ.	4,464	13,1	1,9	3,2	1,3
Νοέ.	4,464	77,5	11,0	9,8	0,0
Δεκ.	4,464	99,7	14,2	15,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	53,568	407,5	58,07		1,3

Όπως φαίνεται και από τους υπολογισμούς, υπάρχει η δυνατότητα συλλογής 58 m³ νερού ετησίως.



Εάν η δεξαμενή έχει όγκο 15 m^3 μπορεί να επιτευχθεί επάρκεια νερού σχεδόν για ένα χρόνο. Παρατηρούμε επίσης, ότι η ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται είναι πολλαπλάσια της ποσότητας που χρησιμοποιείται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τους θερινούς μήνες η βροχόπτωση είναι μηδενική και γι' αυτό πρέπει να αποθηκεύεται νερό για να διασφαλιστεί η επάρκεια.

Έτσι, εάν το τεμάχιο στο οποίο ανήκει το σπίτι διαθέτει τον απαιτούμενο χώρο, μπορεί να κατασκευαστεί ορθογώνια, υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης νερού, η οποία θα απαιτήσει χώρο διαστάσεων περίπου πλάτους 2,5 m, μήκους 3 m και βάθους 2 m. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπέργεια δεξαμενή.

5.1.2 Εφαρμογή σε Υφιστάμενη Κατοικία

Στη Λεμεσό, όπως και στην υπόλοιπη Κύπρο, όταν μια περιοχή συνδεθεί με το αποχετευτικό σύστημα, τα υποστατικά συνδέονται με το αποχετευτικό σύστημα με την απαραίτητη προϋπόθεση να καταργηθούν οι σηπτικοί λάκκοι λυμάτων (ΣΑΛΑ 2014). Συνήθως αυτοί γεμίζονται με χαλίκι ή αφήνονται κενοί αλλά δεν κατεδαφίζονται. Εφόσον ο χώρος υπάρχει σε αυτά τα υποστατικά, θα ήταν καλό να διερευνηθούν τρόποι ώστε αυτά να προσαρμοστούν και να χρησιμοποιηθούν ως δεξαμενές συλλογής ομβρίων. Βέβαια, σε ήδη υπάρχοντα κτίρια, είναι δύσκολη η προσαρμογή των υδραυλικών έτσι ώστε το νερό που συλλέγεται να διοχετεύεται στην τουαλέτα, αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί το νερό να χρησιμοποιείται για το πότισμα του κήπου ή άλλες χρήσεις.

Επίσης, σε κατοικίες, όπου λόγω χώρου δεν είναι εφικτή η κατασκευή υπόγειων λάκκων αποθήκευσης νερού, υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης των υδρορροών της ταράτσας με βαρέλια βροχής. Τα βαρέλια βροχής (Εικόνα 5.1) έχουν μεγάλη ποικιλία διαστάσεων. Μπορεί να τοποθετηθούν απευθείας μετά από κάθε υδρορροή και θα μπορούσε να συλλεχθεί ποσότητα που θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες ενός μικρού κήπου. Επίσης, λόγω της πολύ μικρής χωρητικότητας τους είναι δύσκολο να εξασφαλιστεί η επάρκεια του νερού για όλο το έτος.



Εικόνα 5.1: Βαρέλι βροχής συνδεδεμένο με υδρορορή. Πηγή (Authority & Credit Valley Conservation Authority 2010).

5.1.3 Εφαρμογή σε Δημόσια Κτίρια

Μία άλλη εφαρμογή τέτοιων συστημάτων που θα μελετηθεί, αφορά την εφαρμογή τους σε δημόσια κτίρια, όπως είναι τα σχολεία. Ο αρχικός σκοπός είναι να μηδενιστεί η συμμετοχή των περιοχών αυτών στην απορροή, δηλαδή θα πρέπει να προσαρμοστούν έτσι ώστε το νερό που πέφτει στους χώρους αυτούς να μην διοχετεύεται στο δίκτυο αγωγών, αλλά να κρατείται επί τόπου.

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν περίπου 35 σχολεία. Κάθε σχολείο διαθέτει προαύλιο χώρο συνήθως χωμάτινο και τουλάχιστον ένα γήπεδο καλαθοσφαίρισης το οποίο είναι διαστρωμένο με σκυρόδεμα. Για την αξιολόγηση του συστήματος, θα χρησιμοποιήσουμε το Λανίτειο σχολείο που είναι ένα από τα μεγαλύτερα σε έκταση και πληθυσμό σχολεία της Λεμεσού (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Το συγκρότημα Λανίτειων σχολείων . Εικόνα από Google Earth.

Σήμερα στο χώρο αυτό λειτουργούν το Λανίτειο Λύκειο, το Λανίτειο Γυμνάσιο, το Λανίτειο ΙΒ' Δημοτικό, το Κρατικό Ινστιτούτο, το Μουσικό Λύκειο και το Αθλητικό Λύκειο. Στο τεμάχιο το οποίο έχει συνολικό εμβαδό περίπου 125.000 m² υπάρχουν αρκετά κτήρια που στεγάζουν τα παραπάνω σχολεία, συνολικού εμβαδού περίπου 5.000 m². Επίσης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.2 υπάρχουν χώροι πρασίνου, στίβος, γήπεδα ποδοσφαίρου και καλαθοσφαίρισης και τα κτίρια της σχολικής εφορείας Λεμεσού. Στο χώρο έχει κατασκευαστεί σχετικά μεγάλος αριθμός αδιαπέραστων περιοχών (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3: Διάφορες αδιαπέρατες από το νερό κατασκευές στους χώρους των σχολείων.

Από τις οροφές όλων των κτιρίων κατεβαίνουν υδρορροές οι οποίες καταλήγουν στο έδαφος, είτε σε αδιαπέρατα δάπεδα ή σε χωμάτινες περιοχές (Εικόνα 5.4).



Εικόνα 5.4: Υδρορροές που καταλήγουν σε αδιαπέρατες επιφάνειες.

Στην ανατολική περιοχή των σχολείων, υπάρχει αχρησιμοποίητος χωμάτινος χώρος στον οποίο καταλήγει η απορροή από παρακείμενο χώρο στάθμευσης (Εικόνα 5.5), διαστρωμένο με άσφαλτο.



Εικόνα 5.5: Χώρος στάθμευσης διαστρωμένος με άσφαλτο. Η απορροή του νερού καταλήγει στο χωμάτινο αχρησιμοποίητο χώρο που φαίνεται στο βάθος.

Στο χωμάτινο χώρο είναι εμφανή τα σημάδια διάβρωσης από τη ροή του νερού (Εικόνα 5.6). Ο χώρος αυτός είναι ένας από τους προτεινόμενους για την κατασκευή της δεξαμενής αποθήκευσης για τη συλλογή του νερού.



Εικόνα 5.6: Αχρησιμοποίητος χώρος. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τη διάβρωση λόγω της πορείας του νερού της βροχής. Ο χώρος αυτός είναι ένας από τους προτεινόμενους για την κατασκευή της δεξαμενής αποθήκευσης για τη συλλογή του νερού.

Εναλλακτικά, θα μπορούσε να κατασκευαστεί μια ρηχή ξηρή λίμνη κατακράτησης, η οποία θα γεμίζει κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης και θα διηθεί το νερό στο έδαφος.

Άλλος ένας προτεινόμενος χώρος για την κατασκευή της δεξαμενής, είναι τα γήπεδα ποδοσφαίρου στη νότια περιοχή του σχολείου (Εικόνα 5.7).



Εικόνα 5.7: Γήπεδο ποδοσφαίρου από χώμα. Στο βάθος φαίνονται τα κτίρια του σχολείου. Προτεινόμενος χώρος κατασκευής συστήματος συλλογής και επαναχρησιμοποίησης βρόχινου νερού. Τα πλεονεκτήματα του χώρου αυτού είναι ότι λόγω του ότι η επιφάνεια είναι χωμάτινη και λόγω του ότι τα φορτία που παραλαμβάνει ο χώρος είναι μικρά, η κατασκευή του συστήματος θα είναι πιο οικονομική. Μπορεί επίσης να συνδυαστεί με διήθηση του νερού από την επιφάνεια.

Υπολογίζεται ότι το σύνολο των μαθητών και καθηγητών των σχολείων ανέρχεται σε 1800 άτομα. Για τους υπολογισμούς μας, θεωρήσαμε ότι από αυτά, τα 2/3 (1200 άτομα) πηγαίνουν στην τουαλέτα. Σε κάθε τουαλέτα καταναλώνονται περίπου 9 λίτρα νερού κάθε φορά που χρησιμοποιείται το καζανάκι (Σκούλος et al. 2003). Επομένως, χρειάζονται για το καζανάκι $1200 \times 9 = 10.800$ lt νερού την ημέρα. Τα σχολεία λειτουργούν 173 ημέρες το χρόνο. Το νερό αυτό κοστίζει περίπου $0,90 \text{ €/m}^3$ δηλαδή η ζήτηση νερού μόνο για τα καζανάκια ανέρχεται σε $1868,4 \text{ m}^3$ το χρόνο και κοστίζουν 1.681 €.

Για τους υπολογισμούς του όγκου της δεξαμενής και του ισοζυγίου του νερού, δημιουργήθηκε φύλλο εργασίας στο πρόγραμμα Excel, το οποίο επισυνάπτεται στο Παράρτημα Ε. Κάνοντας τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 5.2 και το Γράφημα 5.1 παρατηρείται ότι υπάρχει η δυνατότητα συλλογής από τις οροφές περίπου 1.900 m^3 νερού. Επίσης, το νερό αυτό που θα επαναχρησιμοποιηθεί θα υποκαταστήσει τη χρήση πόσιμου νερού και επίσης δεν θα διοχετευτεί στους δρόμους, ούτε θα εισέλθει στο σύστημα ομβρίων υδάτων και στις κατάντη περιοχές οι οποίες είναι επιβαρυνμένες κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων (οδός Ανεξαρτησίας, Αγίας Φυλάξεως και περιοχή Κάστρο Λεμεσού).

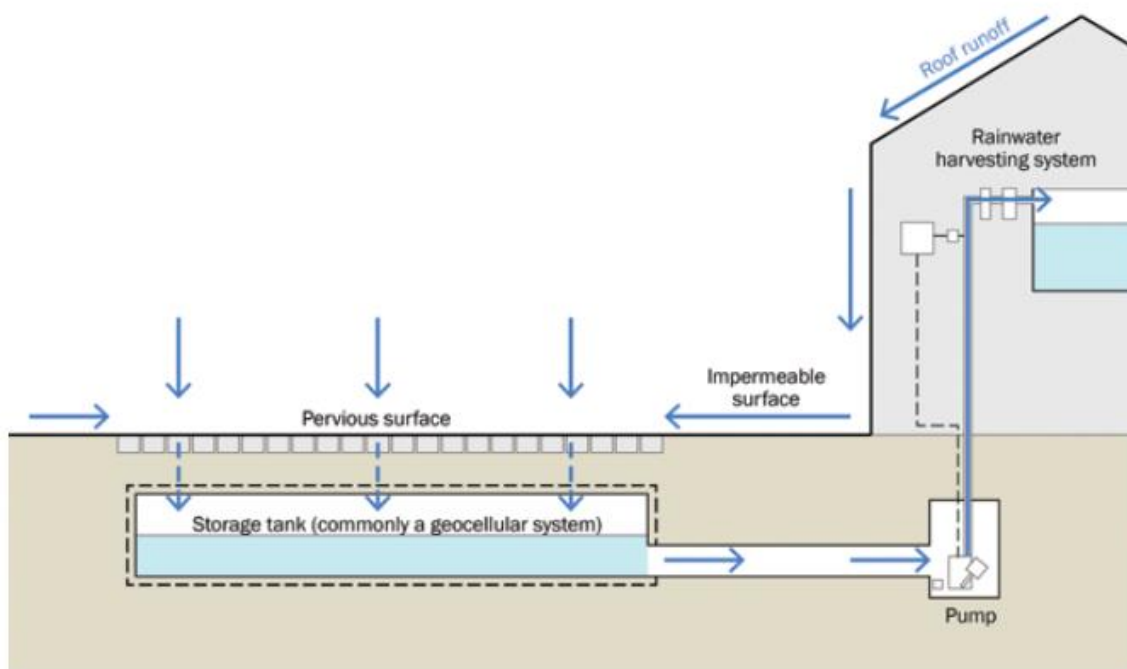
Πίνακας 5.2: Ισοζύγιο νερού σε σχολείο με σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης

Μήνας	Αριθμός ημερών λειτουργίας	Ζήτηση νερού για το καζανάκι της τουαλέτας	Μέση μηνιαία Βροχόπτωση	Διαθέσιμο βρόχινο νερό	Αποθηκευμένο νερό στο τέλος του μήνα	Νερό για τη συμπλήρωση των αναγκών
	ημέρες	m ³	mm/m ²	m ³	m ³	m ³
Ιαν.	19	205,2	86,7	411,8	400,0	0,0
Φεβ.	21	226,8	66,9	317,8	400,0	0,0
Μάρ.	21	226,8	35,8	170,1	400,0	0,0
Απρ.	19	205,2	18,4	87,4	400,0	0,0
Μάι.	16	172,8	5,1	24,2	362,7	0,0
Ιούν.	13	140,4	1,4	6,7	228,9	0,0
Ιούλ.	0	0	0	0,0	228,9	0,0
Αύγ.	0	0	0	0,0	228,9	0,0
Σεπ.	15	162	2,9	13,8	80,7	81,3
Οκτ.	19	205,2	13,1	62,2	0,0	205,2
Νοέ.	19	205,2	77,5	368,1	162,9	42,3
Δεκ.	11	118,8	99,7	473,6	400,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	173	1868,4	407,5	1935,6		328,8



Γράφημα 5.1: Ισοζύγιο νερού για την επάρκεια συστήματος συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού στο Λανίτειο σχολείο.

Για την κάλυψη των αναγκών όλου του έτους υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να κατασκευαστεί δεξαμενή χωρητικότητας 400 m³, η οποία ενδεικτικά θα καταλαμβάνει χώρο περίπου 25 m X 10 m και βάθος 1,6 m. Η βασική λειτουργία του συστήματος φαίνεται στην (Εικόνα 5.8) και περιλαμβάνει τη συλλογή του νερού από την οροφή και τη χρήση του για το πότισμα των χώρων πρασίνου ή για τα καζανάκια των αποχωρητηρίων. Μπορεί επίσης, να συνδυαστεί και με σύστημα διήθησης του νερού, όπως είναι τα διαπερατά δάπεδα.



Εικόνα 5.8: Διάταξη συστήματος συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού. Πηγή (Kellagher et al. 2015)

Για την αξιολόγηση της οικονομικής διάστασης της λύσης, κάναμε έρευνα στο διαδίκτυο για να εντοπίσουμε το κόστος αγοράς ενός συστήματος αποθήκευσης ομβρίων από συναρμολογούμενα διάτρητα κιβώτια (geocellular storage systems) όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.9: Κατασκευή συστήματος Graf EcoBloc Light Modular Water Storage System. Πηγή (RainHarvest Systems 2016).

Κάθε ένα κιβώτιο μπορεί να αποθηκεύσει περίπου 225 lt, έχει μήκος και πλάτος περίπου 0,8 m επί 0,8 m και ύψος 0,35 m ενώ κάθε τεμάχιο κοστίζει περίπου 55,5 € (RainHarvest Systems 2016). Για την αποθήκευση 400 m³ θα χρειαζόνταν περίπου 1.700 units, τα οποία θα κόστιζαν περίπου 95.000 €, χωρίς να υπολογιστούν τα έξοδα εκσκαφής και επίχωσης καθώς και των σωληνώσεων που θα χρειαστούν.

5.1.4 Άλλες Εφαρμογές στο Λανίτειο

Επίσης, στο σχολείο αυτό μπορούν να εφαρμοστούν και άλλα ΑΣΔΟ. Ακολουθούν μερικά από αυτά.



Εικόνα 5.10: Διαμόρφωση κήπου βροχής. Με πολύ μικρό κόστος μπορεί να διαμορφωθεί ο κήπος των φωτογραφιών σε κήπο βροχής, στον οποίο θα καταλήγουν οι υδρορροές από το παρακείμενο κτίριο.



Εικόνα 5.11: Υδρορροές που καταλήγουν σε αδιαπέρατο δάπεδο, ενώ ακριβώς μπροστά σε αυτές υπάρχει λωρίδα πρασίνου που θα μπορούσε να παραλάβει το νερό αυτό.



Εικόνα 5.12: Διαμόρφωση της λωρίδας πρασίνου και των υδρορροών.



Εικόνα 5.13: Υδροροή που καταλήγει σε πεζούλι δίπλα από χώρο πρασίνου. Προτείνεται η διαμόρφωση του χώρου αυτού σε κήπο βροχής και η διαμόρφωση όλων των

παρακείμενων υδροροών ώστε να καταλήγουν σε αυτόν. Όπως φαίνεται από τη δεξιά φωτογραφία, μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί και υπερχείλιση προς το φρεάτιο συλλογής ομβρίων.



Εικόνα 5.14: Παράδειγμα από εγκατάσταση σε δημοτικό σχολείο στο Stebonheath, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πηγή (Sudsdrain 2012a)



Εικόνα 5.15: Δημιουργία νησίδων βιοκατακράτησης στα δέντρα ώστε να διοχετεύεται η απορροή από την άσφαλτο και να οριοθετούνται και οι χώροι στάθμευσης.

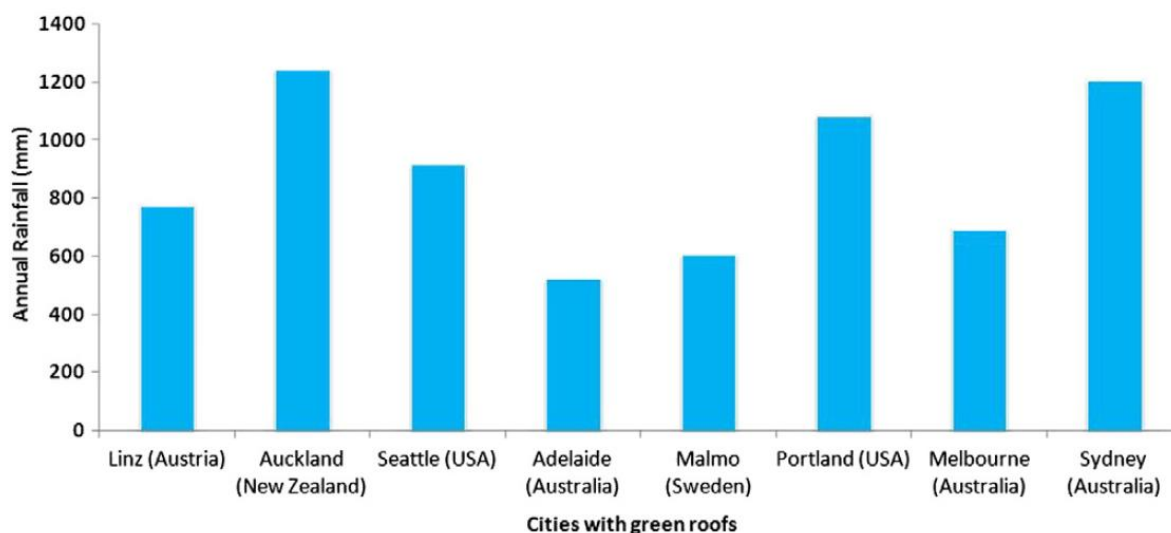


Εικόνα 5.16: Χαμήλωμα των ρείθρων των δέντρων ώστε να μπορεί να εισέρχεται νερό. το δάπεδο θα μπορούσε να είναι διαπερατό.

5.2 Εφαρμογή Πράσινης Οροφής

Η εφαρμογή πράσινων οροφών είναι κατάλληλη σε πυκνοδομημένες περιοχές, όπου υπάρχει έλλειψη χώρου διότι γίνεται εκμετάλλευση αχρησιμοποίητων χώρων.

Όπως παρατηρούμε στο Γράφημα 5.2, το μέσο ύψος βροχόπτωσης σε πόλεις όπου έχουν εφαρμοστεί πράσινες οροφές ποικίλλει από περίπου 500 mm έως και 1200 mm. Όπως φαίνεται και από την κατανομή της βροχόπτωσης που παρουσιάστηκε στην Παράγραφο 3.6.1, το μέσο ύψος βροχόπτωσης στη Λεμεσό ανέρχεται στα 407 mm, που είναι μικρότερο από όλες τις πόλεις που παρουσιάζονται στο γράφημα. Οι βροχοπτώσεις στην περιοχή μελέτης περιορίζονται μόνο σε λίγους μήνες του έτους, ενώ το καλοκαίρι επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και η βροχόπτωση είναι μηδενική.



Γράφημα 5.2: Μέσο ύψος ετήσιας βροχόπτωσης σε πόλεις όπου έχουν χρησιμοποιηθεί. Πηγή (Razzaghmanesh et al. 2014).

Σύμφωνα με τους Razzaghmanesh et al. (2014) η έλλειψη επαρκούς βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες επιφέρουν σημαντικές πιέσεις στα φυτά. Συνεπώς, για να είναι αποδοτική η κατασκευή πράσινων οροφών σε κλιματικές συνθήκες όπως αυτές της Λεμεσού, είναι απαραίτητη η επιλογή ανθεκτικών στην ξηρασία φυτών και η εξασφάλιση συμπληρωματικής πηγής νερού για την άρδευση. Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα θα αποτελούσε ο συνδυασμός των πράσινων οροφών με σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η επάρκεια του νερού ποτίσματος.

5.3 Εφαρμογή Διαπερατών Δαπέδων

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3, τα διαπερατά δάπεδα συνήθως εφαρμόζονται σε χώρους στάθμευσης. Εάν το έδαφος δεν έχει επαρκή ικανότητα διήθησης, μπορούν να συνδυαστούν με σύστημα αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης νερού. Η κατασκευή διαπερατών δαπέδων συνδυασμένων είτε με συστήματα αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης νερού, είτε με κατάλληλες τεχνικές που να επιτρέπουν τη διήθηση του στο υπέδαφος, θα μπορούσε να αποτελέσει μεγάλη βοήθεια στη διαχείριση της επιφανειακής απορροής και να μειώσει τα πλημμυρικά φαινόμενα. Αυτά θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε υπαίθριους χώρους στάθμευσης, με σκοπό την αποτροπή της απορροής να μεταβεί κατάντη όπου μπορεί να δημιουργήσει πλημμυρικά φαινόμενα.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν μερικοί από τους χώρους στους οποίους θα μπορούσαν να εφαρμοστούν.

5.3.1 Εφαρμογή σε Υπαίθριο Χώρο Στάθμευσης

Θα μελετήσουμε την εφαρμογή σε έναν υπαίθριο χώρο στάθμευσης εμβαδού 3.300 m², ο οποίος βρίσκεται σε πυκνοδομημένη περιοχή, νότια της κλινικής Υγεία, στην οδό Ναυπλίου στη Λεμεσό και διαθέτει περίπου 100 θέσεις στάθμευσης.



Εικόνα 5.17: υπαίθριος χώρος στάθμευσης στην οδό Ναυπλίου. Φωτογραφία από Google Earth.

Εάν εφαρμοστεί στο χώρο αυτό διαπερατό δάπεδο, ανάλογα με το σύστημα που θα επιλεγεί, θα μπορούσε να συλλεχθεί νερό όγκου περίπου 1.300 m³. Επίσης, θα μπορούσε να συνδεθούν όλες οι στέγες στην κοντινή περιοχή μέσω ενός μικρού συστήματος αγωγών και ομβρίων και με αυτό τον τρόπο να μην υπάρχει ανάγκη κατασκευής μεγάλων κεντρικών αγωγών ομβρίων.

5.3.2 Εφαρμογή σε Χώρους Στάθμευσης Οδών

Τα διαπερατά δάπεδα μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμα στην απομάκρυνση των λιμναζόντων νερών των οδοστρωμάτων, εάν εφαρμοστούν τοπικά, σε επιλεγμένα σημεία, όπως είναι οι χώροι στάθμευσης στις άκρες των οδών ή οι στάσεις λεωφορείων.



Εικόνα 5.18: Χώροι στάθμευσης στο πλάι οδών στη Λεμεσό.

Το νερό διοχετεύεται στο εσωτερικό του δαπέδου όπου αποθηκεύεται προσωρινά ενώ μια ή περισσότερες διάτρητες σωλήνες στο κατώτερο μέρος του δαπέδου διοχετεύουν το νερό με πιο αργό ρυθμό στο δίκτυο ομβρίων.

Ο όγκος που αποθηκεύεται εξαρτάται από τον όγκο των κενών της βάσης, και την κλίση του δαπέδου. Συνήθως χρησιμοποιούνται ως βάση αδρανή με όγκο κενών περίπου 30%. Υπολογίζεται ότι σε ένα χώρο 2 θέσεων στάθμευσης δηλαδή περίπου 35 m², το βάθος του οποίου θα είναι 1,5 m μπορούν να κρατηθούν περίπου 15,75 m³.

5.4 Συστήματα Βιοκατακράτησης σε Οδούς

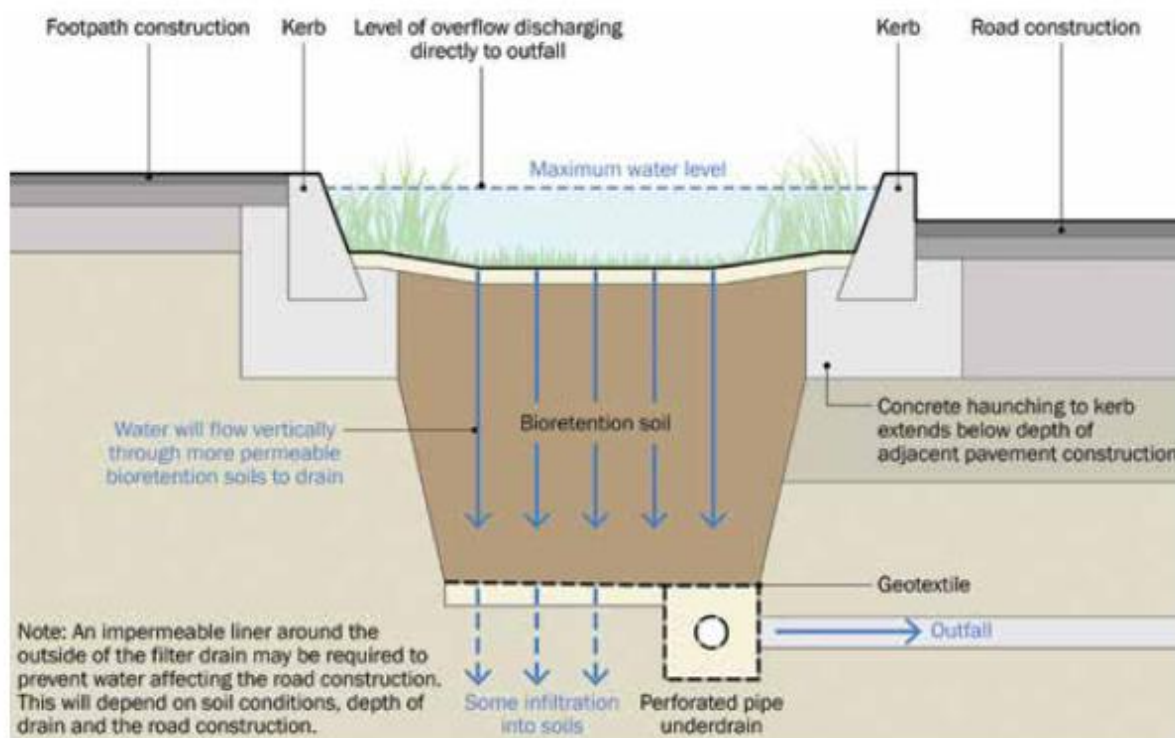
Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι προς το όφελος όλων η μετατροπή των οδών σε πράσινες. Για να γίνει αυτό, πρέπει να εφαρμοστεί σειρά από διαφορετικά συστήματα.

5.4.1 Εφαρμογή σε Νησίδες στο Κέντρο των Οδών

Ένα βήμα πιο πέρα, είναι η χρησιμοποίηση των οδών ως μέτρο διαχείρισης των ομβρίων, με την υιοθέτηση της κατασκευής τάφρων διήθησης, αυλακιών ή συστημάτων βιοκατακράτησης σε υφιστάμενους χώρους όπως στις νησίδες στο κέντρο των οδών.

Ένα σύστημα βιοκατακράτησης σε νησίδες ή δίπλα από δρόμους, μπορεί να φυτευτεί με βλάστηση ή δέντρα ή ακόμα και να μη φυτευτεί και να λειτουργεί όπως ένα φίλτρο

διήθησης (filter trench). Στο κατώτερο σημείο του συνήθως τοποθετείται διάτρητη σωλήνα ώστε να μεταφέρει την απορροή κατάντη. Στην επιφάνεια θα επιτρέπεται η κατακράτηση ποσότητας νερού έως και 15 εκατοστών, σύμφωνα με τους Brown et al. (2013) ενώ θα προστεθούν άλλα 5 εκατοστά για ασφάλεια. Επειδή ο χώρος είναι περιορισμένος, τα πρανή του θα είναι κάθετα. Τα συστήματα αυτά δεν θα πρέπει να παραλαμβάνουν την απορροή από περιοχή μεγαλύτερη από 0,8 ha. Λόγω του νερού που διηθείται ενδέχεται να υπάρχουν ανησυχίες που αφορούν τη σταθερότητα του δρόμου που γειτνιάζει με τα αυλάκια αυτά. Σε αυτές τις περιπτώσεις λαμβάνονται μέτρα ώστε να αποφεύγεται η καταστροφή της βάσης του δρόμου από τα νερά που εισέρχονται σε αυτή. Στην Εικόνα 5.19 φαίνεται μια τυπική τομή.



Εικόνα 5.19: Σύστημα βιοκατακράτησης σε νησίδα μεταξύ δρόμων, τροποποιημένο ώστε να προστατεύεται η βάση του δρόμου από το νερό. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Η εφαρμογή αυτή είναι σχετικά εύκολη, αρκεί να υπάρχει ο διαθέσιμος χώρος. Στη Λεμεσό παρατηρείται ότι συνήθως οι νησίδες στο κέντρο του δρόμου φυτεύονται με γρασίδι και δέντρα, ενώ στις πλείστες περιπτώσεις το επίπεδο τους είναι υψηλότερο από αυτό του δρόμου.



Εικόνα 5.20: Σε μεγάλο αριθμό νησίδων, φυτεύεται γρασίδι. Παρατηρούμε ότι το επίπεδό τους είναι ψηλότερο από το οδόστρωμα. Προτείνεται η μείωση του υψομέτρου και η διαμόρφωση των ρείθρων ώστε να εισέρχεται το νερό μέσα στις νησίδες.



Εικόνα 5.21: Σε περιπτώσεις όπου οι νησίδες είναι μικρού πλάτους, διαστρώνονται με τσιμέντο ή πλάκες. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα μπορούσαν να κατασκευάζονται σαν φίλτρα διήθησης, εάν η εκσκαφή γεμίσει π.χ. με χαλίκι μιας διατομής και αφεθούν κενά στο ρείθρο, ώστε να εισέρχεται το νερό.

Έτσι, εάν κατά την κατασκευή αυτών των χώρων αποφασιζόταν μόνο το χαμήλωμα του υψομέτρου φύτευσης των νησίδων αυτών κατά 20 εκατοστά αυτό θα μπορούσε να συμβάλει στην παραλαβή μέρους της απορροής με μηδενικό κόστος. Μια τέτοια νησίδα παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.22.



Εικόνα 5.22: Παράδειγμα νησίδας με σύστημα βιοκατακράτησης. Στο κάτω μέρος φαίνεται το φρεάτιο υπερχείλισης. Πηγή (Chesapeake Stormwater Network 2016).

Θα υπολογίσουμε τα οφέλη από τη δημιουργία κήπου βροχής στη νησίδα που φαίνεται στην Εικόνα 5.23, η οποία βρίσκεται νότια του κυκλικού κόμβου Αγίας Φύλας. Η συνολική έκταση της νησίδας υπολογίστηκε σε περίπου 1.000 m² ενώ φυτεμένα είναι τρία τμήματα συνολικού εμβαδού 475 m².



Εικόνα 5.23: Η νησίδα Νότια του κυκλικού κόμβου Αγίας Φύλας, αποτελείται από τρεις χώρους πρασίνου. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η νοτιότερη.

Το νερό που μπορεί να κρατήσει στη βάση του το σύστημα είναι ίσο με τον συνολικό όγκο επί τη διαπερατότητα του εδαφικού μίγματος που θα τοποθετηθεί μέσα. Εάν τοποθετηθεί σε αυτό εδαφικό μίγμα, θα έχει διαπερατότητα περίπου 30%. Το βάθος του

συστήματος θεωρούμε ότι θα είναι 1,5 m. Ο μέγιστος όγκος του νερού που θα μπορεί να κατακρατείται σε αυτές τις νησίδες υπολογίζεται ότι θα ανέρχεται σε $475 \text{ m}^2 \times 0,3 \times 1,5 \text{ m} = 213,76 \text{ m}^3$.

Η είσοδος του νερού στις νησίδες μπορεί να γίνεται με διάφορους τρόπους. Μερικά παραδείγματα δίνονται στην Εικόνα 5.24.



Εικόνα 5.24: Παραδείγματα εισόδου νερού σε συστήματα βιοκατακράτησης. Πηγή (Kellagher et al. 2015).

Αφού το νερό εισέλθει μέσα στο σύστημα, θα διηθηθεί αργά προς το υπέδαφος. Στο κάτω μέρος της εκσκαφής θα τοποθετηθεί διάτρητη σωλήνα έτσι ώστε το νερό να διοχετευτεί στο δίκτυο ομβρίων σε πιο αργό χρόνο. Σε περίπτωση που το νερό της βροχής είναι πολύ, είναι δυνατό να τοποθετηθεί υπερχειλίση ώστε το νερό να διοχετευτεί απευθείας στο δίκτυο ομβρίων.

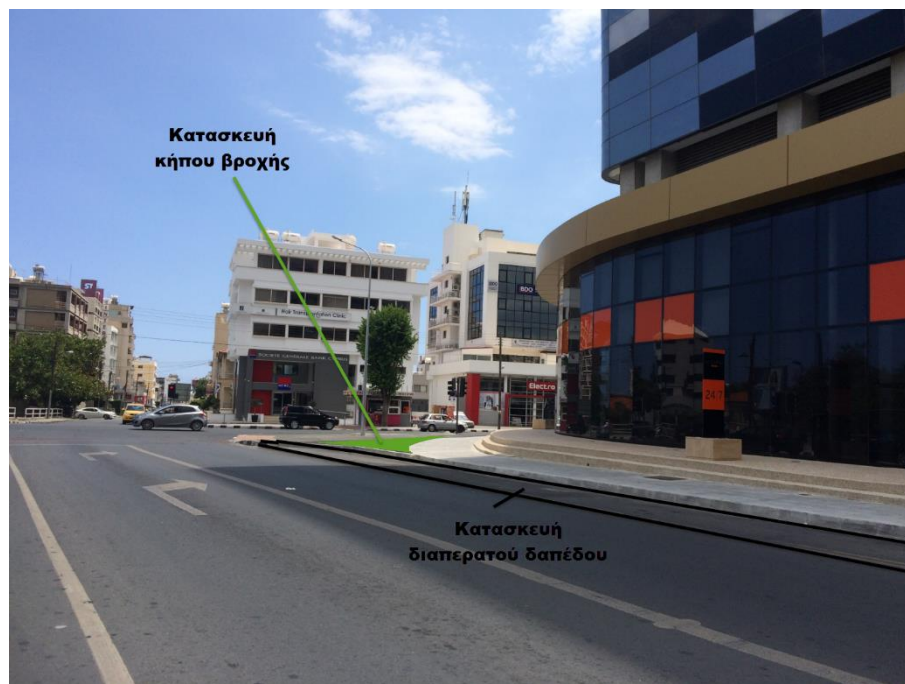
Τα συστήματα αυτά είναι πολύ εύκολο να εφαρμοστούν σε νέες νησίδες και το επιπρόσθετο κόστος που θα προκύψει είναι αμελητέο, καθώς οι επιπρόσθετες εργασίες είναι ο σχεδιασμός, το γεωύφασμα και οι διάτρητες σωλήνες για την υπερχειλίση. Τα οφέλη από αυτές τις εφαρμογές, εκτός του ότι μειώνουν την απορροή, είναι ότι διηθούν το νερό προς το έδαφος και τον υδροφορέα, ενώ κατά τη διάρκεια το επεξεργάζονται και βελτιώνουν την ποιότητα του.

5.4.2 Εφαρμογή σε Πεζοδρόμια και Γωνίες Δρόμων

Άλλη μια εφαρμογή τέτοιων συστημάτων βιοκατακράτησης, είναι η κατασκευή κήπων βροχής στις γωνίες των δρόμων και ως οριοθέτηση των χώρων στάθμευσης στα πλευρά των οδών.



Εικόνα 5.24: Κήπος βροχής στο άκρο χώρου στάθμευσης και σε γωνία οδού. Πηγή (City of Philadelphia 2014).



Εικόνα 5.25: Η γωνία του πεζοδρομίου έχει διαστρωθεί με άσφαλτο. Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να δημιουργηθεί κήπος βροχής.

Ακόμα ένα ΑΣΔΟ το οποίο είναι σχετικά εύκολο να ενσωματωθεί σε υφιστάμενες ή νέες κατασκευές είναι τα παρτέρια ομβρίων (Stormwater planters). Αυτά είναι μικροί κήποι που κατασκευάζονται σε πεζοδρόμια. Η επιφάνεια φύτευσης και σε αυτά, πρέπει να είναι χαμηλότερη από το οδόστρωμα, ενώ το νερό διοχετεύεται μέσα σε αυτά από εσοχές στο ρείθρο ή σχάρες ομβρίων. Παρότι μπορούν να κατασκευαστούν σε μεγάλη ποικιλία

μεγεθών και σχημάτων, συνήθως έχουν ορθογώνιο σχήμα και κάθετους τοίχους στις πλευρές. Στην Εικόνα 5.26 φαίνεται ένα γράφημα των παρτεριών ομβρίων.



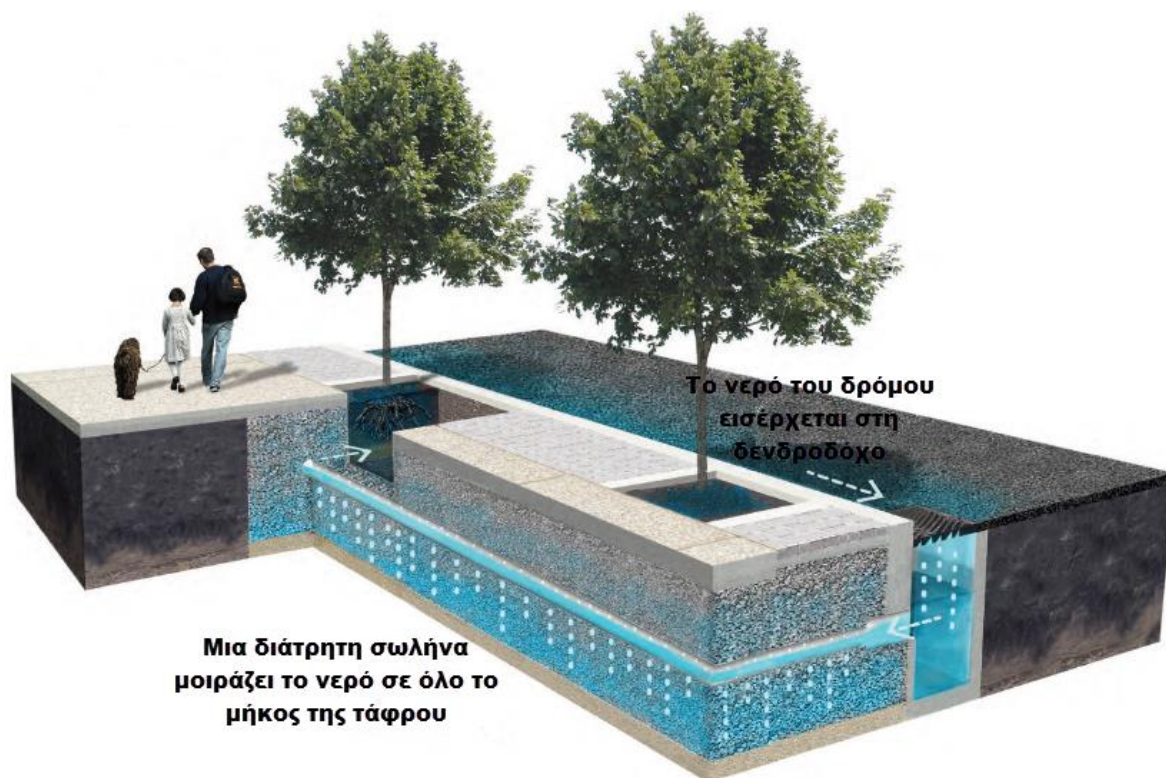
Εικόνα 5.26: Τρισδιάστατο γράφημα παρτεριού βροχής. Το νερό εισέρχεται στο παρτέρι από το δρόμο ή το πεζοδρόμιο, λιμνάζει στην επιφάνεια του και διηθείται αργά στο εσωτερικό του. Πηγή (City of Philadelphia 2014).

Για την κατασκευή τους, θα πρέπει να υπάρχει επαρκές πλάτος του πεζοδρομίου. Επίσης, θα πρέπει να αφήνεται απόσταση από το δρόμο, ώστε να μπορεί να βγει κάποιος από ένα αυτοκίνητο σε περίπτωση που αυτό θα σταθμεύσει μπροστά. Το ότι το έδαφος πρέπει να είναι χαμηλότερα από το οδόστρωμα δυσκολεύει την εφαρμογή, καθώς μπορεί να είναι πολύ βαθύ και θα πρέπει να διασφαλιστεί η ασφάλεια των διερχομένων (π.χ. με την περίφραξη με χαμηλά κιγκλιδώματα). Στην Εικόνα 3.8 φαίνονται κάποιες εφαρμογές.



Εικόνα 5.27: Εφαρμογές παρτεριών ομβρίων.

Επίσης, σε περιπτώσεις νέων δεντροφυτεύσεων και νέων αναπτύξεων, προτείνεται τα δέντρα να φυτεύονται σε δενδροδόχους βιοκατακράτησης. Αυτές μπορούν να προσαρμόζονται στην τοπογραφία στις κάθε περιοχής. Επίσης, μπορούν να ενώνονται μεταξύ στις με τάφρους, σχηματίζοντας έναν ενιαίο χώρο για την αποθήκευση του νερού αντί για μεμονωμένους και αυξάνοντας έτσι τη χωρητικότητα στις (Εικόνα 5.28).



Εικόνα 5.28: Δενδροδόχοι ομβρίων. Πηγή (City of Philadelphia 2014).

5.4.3 Εφαρμογή σε Χώρους Πρασίνου

Κάθε χώρος πρασίνου αποτελεί εν δυνάμει υποψήφιο χώρο για την κατασκευή ενός ή περισσότερων συστημάτων αειφορικής διαχείρισης ομβρίων. Έτσι, μπορούν να διαμορφωθούν κήποι βροχής σε επίπεδο τεμαχίου, είτε σε δημόσιους χώρους πρασίνου ή νησίδες δρόμων, έτσι ώστε να συνεισφέρουν στη διαχείριση και την επεξεργασία του νερού στις βροχές. Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται δε, ότι οι χώροι πρασίνου που κατασκευάζονται σήμερα κατά την πλειοψηφία τους διαμορφώνονται σε υψηλότερο υψόμετρο από αυτό του οδοστρώματος.



Εικόνα 5.29: Χώροι πρασίνου στην περιοχή μελέτης.

Υπολογίζεται ότι, εάν κατά τη διαμόρφωση ενός χώρου πρασίνου εμβαδού 100 m^2 ληφθεί πρόνοια ώστε το επίπεδο του να χαμηλώσει από την επιφάνεια τουλάχιστον κατά 15 εκατοστά κάτω από το υψόμετρο του δρόμου, θα μπορούσε να παραλαμβάνει νερό όγκου περίπου 15 m^3 νερού κατά τη διάρκεια της βροχής. Αυτά μπορούν είτε να διοχετευτούν σε κατασκευές τέτοιες ώστε να διηθηθούν στο έδαφος, είτε να κατακρατηθούν και να διοχετευθούν με πιο αργό ρυθμό στο δίκτυο ομβρίων.

Σημειώνεται ότι δεν είναι ανάγκη να κατασκευάζεται όλος ο χώρος πρασίνου με αυτό τον τρόπο, αλλά μπορούν να επιλεγθούν τμήματα που να προορίζονται για κατακράτηση, ή ως κήποι βροχής. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 5.30.



Εικόνα 5.30: Κήπος βροχής σε πάρκο. Πηγή (Arlington County Government 2016).

Άλλη μια δυνατότητα, είναι η κατασκευή τάφρων διήθησης που αποθηκεύουν νερό στο εσωτερικό τους και θα το διηθούν αργά στο υπέδαφος. Εάν για παράδειγμα κατασκευαστεί στον παραπάνω χώρο πρασίνου ένας διάδρομος με μήκος 10 μέτρα, πλάτος 1 μέτρο και βάθος 1 μέτρο και πληρωθεί με χαλίκι μιας διαμέτρου το οποίο θα έχει διαπερατότητα 30%, τότε θα μπορεί να αποθηκεύει 3 m³ νερού, ενώ το κόστος θα ήταν ελάχιστο. Οι δυνατότητες κατασκευής τέτοιων χώρων είναι μεγάλες, καθώς τέτοια αυλάκια μπορούν να κατασκευαστούν με ποικίλες διαστάσεις και να προσαρμοστούν ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο.

5.4.4 Εφαρμογή στην Παραλιακή Οδό της Λεμεσού

Η Λεμεσός είναι παραλιακή πόλη. Κατά μήκος του παραλιακού μετώπου έχει κατασκευαστεί πεζόδρομος και ποδηλατόδρομος οι οποίοι περικλείονται από λωρίδα πρασίνου, φυτεμένη με θάμνους (Εικόνα 5.31).



Εικόνα 5.31: Φωτογραφίες από την παραλιακή οδό της Λεμεσού.

Εάν η λωρίδα που χωρίζει την παραλιακή οδό από τον ποδηλατόδρομο κατασκευαζόταν όπως τα συστήματα βιοκατακράτησης που αναφέρθηκαν πιο πάνω, θα αντιμετώπιζονταν τα προβλήματα συγκέντρωσης νερού στο οδόστρωμα της παραλιακής οδού που εμφανίζονται σε ορισμένες βροχοπτώσεις.

5.5 Εφαρμογή Δεξαμενών Κατακράτησης σε Κυκλικούς Κόμβους

Όπως και οι χώροι πρασίνου, έτσι και οι κυκλικοί κόμβοι θα μπορούσαν να προσαρμοστούν για τη δημιουργία κήπων βροχής. Ακόμη, εάν οι διαστάσεις το επιτρέπουν, θα μπορούσαν να κατασκευαστούν και μικρές λίμνες κατακράτησης, όπως στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.33. Αυτή τη στιγμή, οι κυκλικοί κόμβοι κατασκευάζονται σε πιο υψηλό επίπεδο από ότι οι περιβάλλοντες δρόμοι (Εικόνα 5.32) με αποτέλεσμα να μην κατακρατούν ποσότητες νερού, αλλά να τις διοχετεύουν στους περιβάλλοντες δρόμους.



Εικόνα 5.32: Νησίδες στην περιοχή μελέτης.

Στην Εικόνα 5.33 φαίνεται ένα παράδειγμα εκμετάλλευσης ενός κυκλικού κόμβου ως χώρος αναψυχής και ως δεξαμενή κατακράτησης ομβρίων και στην Εικόνα 5.34 ως λίμνη κατακράτησης.



Εικόνα 5.33: Κυκλικός κόμβος που χρησιμεύει σαν χώρος αναψυχής και σαν δεξαμενή κατακράτησης ομβρίων. Πηγή (Strickler 2010).



Εικόνα 5.34: Λίμνη κατακράτησης σε κυκλικό κόμβο. Πηγή (Sudsdrain 2012a)

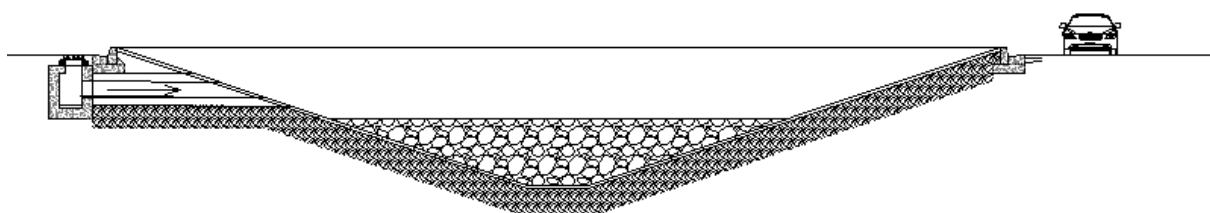
Το παράδειγμα που παρουσιάζεται αφορά τον κυκλικό κόμβο Αγίας Φύλας (Εικόνα 5.33), ο οποίος θα μπορούσε να προσαρμοστεί ως δεξαμενή κατακράτησης ομβρίων, έτσι ώστε

να αποθηκεύει προσωρινά το νερό της βροχής και να το προωθεί κατάντη με πιο αργό ρυθμό.



Εικόνα 5.35: Ο κυκλικός κόμβος Αγίας Φύλας.

Ο κόμβος αυτός έχει διάμετρο περίπου 30 m. Εάν αποφασιστεί η δημιουργία δεξαμενής που να καταλαμβάνει τη μισή έκταση του κόμβου με πρηνή κλίσης το πολύ 1:3 και βάθος περίπου 2 m, υπολογίζεται ότι θα μπορούσε να κατακρατεί περίπου 1.000 m³ (Εικόνα 5.36).



Εικόνα 5.36: Σκαρίφημα της προτεινόμενης δεξαμενής στον κυκλικό κόμβο Αγίας Φύλας.

Με τον τρόπο αυτό θα αποσυμφορηθεί η οδός Αγίας Φυλάξεως, στην οποία κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων παρατηρείται μεγάλη ποσότητα επιφανειακού νερού. Επίσης, είναι δυνατό να συνδεθεί και να επικοινωνεί με τον κήπο βροχής που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

Επίσης, σε περιοχές που πλήγονται από πλημμύρες (Εικόνα 4.24) μπορούν να εφαρμοστούν τέτοια συστήματα.

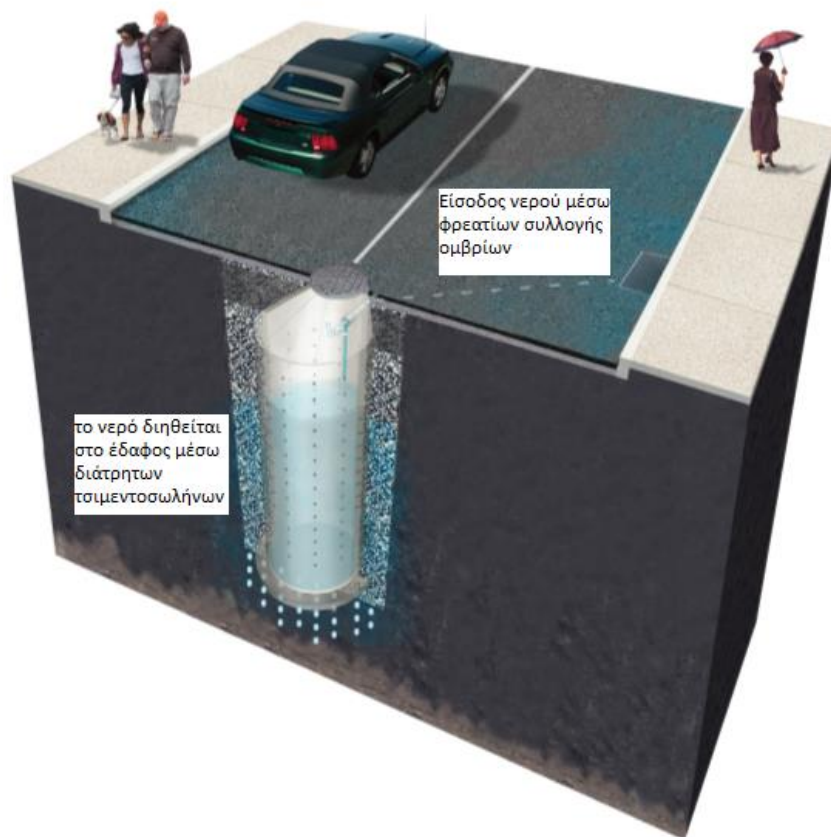


Εικόνα 5.37: Περιοχή στην οποία εμφανίζονται πλημμύρες. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται ότι έχουν δημιουργηθεί ανοίγματα ώστε να φεύγει το νερό από την επιφάνεια του δρόμου προς παρακείμενο οικόπεδο, το οποίο με λίγες κατασκευαστικές εργασίες θα μπορούσε να λειτουργεί ως λίμνη.

5.6 Εφαρμογή Λάκκων Διήθησης

Στη Λεμεσό, οι τοπικές αρχές προωθούν την αειφορική διαχείριση των ομβρίων υδάτων. Ήδη για την έκδοση πολεοδομικών αδειών και αδειών οικοδομής επιβάλλονται όροι ούτως ώστε να διασφαλίζεται η μείωση ή η κατακράτηση των νερών που καταλήγουν στο δρόμο. Συνήθως οι όροι αυτοί περιλαμβάνουν τη χρήση λάκκων διήθησης, οπότε δεν θα αναφερθούμε σε αυτές.

Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει δίκτυο ομβρίων είναι δυνατή η κατασκευή λάκκων διήθησης σε δρόμους. Το σύστημα αυτό (Εικόνα 5.38) λαμβάνει την απορροή μιας μικρής περιοχής μέσω σχαρών συλλογής ομβρίων και το διηθεί στο υπέδαφος.



Εικόνα 5.38: Λάκκοι διήθησης σε δρόμους. Πηγή (City of Philadelphia 2014).

Τα συστήματα αυτά είναι μεμονωμένα, καταλαμβάνουν μικρό χώρο, ενώ αποθηκεύουν σχετικά μεγάλη ποσότητα νερού. Κατασκευάζονται σε περιοχές όπου δεν είναι εφικτές άλλες λύσεις, όμως θα πρέπει να έχουν αρκετή απόσταση από κτήρια. Επίσης, θα πρέπει το νερό να μην παρασύρει φερτά τα οποία θα φράξουν τους πόρους του και θα πρέπει το έδαφος να έχει ικανοποιητική διαπερατότητα. Το κόστος κατασκευής είναι σχετικά μικρό και λόγω αυτού ενδείκνυνται για περιοχές με τοπικές πλημμύρες. Εάν θεωρήσουμε ότι ο λάκκος έχει διάμετρο 1,5 m και βάθος 10 m, θα μπορεί να κατακρατήσει νερό τουλάχιστον 17 m³, χωρίς να λάβουμε υπόψη το νερό που θα διηθηθεί στο υπέδαφος.

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα – Επίλογος

6.1 Αποτελέσματα

6.1.1 Εφαρμογή Συστημάτων Συλλογής και Επαναχρησιμοποίησης Νερού της Βροχής

Με βάση την αξιολόγηση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρατηρούμε ότι η εφαρμογή συστήματος συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού είναι μια πρακτική που μπορεί και πρέπει να υιοθετηθεί, καθώς εκτός από τα οφέλη στη μείωση του όγκου της απορροής, συνεισφέρει στην εξοικονόμηση του πόσιμου νερού, το οποίο είναι πολύτιμο, δεδομένης της λειψυδρίας που επικρατεί στην Κύπρο. Βέβαια, ο όγκος των δεξαμενών που χρειάζονται για να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό είναι σχετικά μεγάλος στην Κύπρο σε σύγκριση με άλλες χώρες στις οποίες οι βροχοπτώσεις είναι ομαλά κατανεμημένες κατά τη διάρκεια του έτους.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η εφαρμογή σε κατοικίες και προέκυψε ότι είναι εφικτή η κάλυψη των αναγκών (νερό τουαλέτας και πότισμα κήπου) σε νερό σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σε νεόδμητες κατοικίες υπάρχει πολύ μικρό επιπλέον κόστος για τη μετατροπή των υδραυλικών ώστε να διοχετεύεται το νερό στις τουαλέτες, ενώ στα ήδη κατασκευασμένα κτίρια, είναι δύσκολη η μετατροπή των υδραυλικών και για το λόγο αυτό προτείνεται η χρήση του νερού μόνο για το πότισμα των κήπων. Ο όγκος της απαιτούμενης δεξαμενής καθορίζεται ανάλογα με το εμβαδό των κήπων και τις ανάγκες των φυτών σε νερό.

Σε χώρους με μεγάλη έκταση και μεγάλο αριθμό χρηστών, όπως είναι τα σχολεία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μεγαλύτερο εύρος των συστημάτων συλλογής και επαναχρησιμοποίησης του νερού της βροχής, είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά. Στη διπλωματική αυτή, μελετήθηκε η εφαρμογή του συστήματος στο χώρο του Λανίτειου

σχολείου. Για να διασφαλιστεί η επάρκεια για τη συλλογή του νερού και τη χρήση του στα αποχωρητήρια υπολογίστηκε ότι χρειάζεται δεξαμενή όγκου 800 m³ και θα επιφέρει εξοικονόμηση στην κατανάλωση νερού περίπου 1200 m³. Ο χώρος που θα απαιτήσει η δεξαμενή αυτή μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο, για παράδειγμα θα απαιτούσε περιοχή περίπου 20 m X 20 m και βάθους 2 m ή 30 m X 20 m και βάθους 1,5 m.

6.1.2 Εφαρμογή Πράσινων Οροφών

Η εφαρμογή πράσινων οροφών δεν προτείνεται στην περίπτωση της Λεμεσού, διότι ο όγκος της βροχόπτωσης είναι μικρός και η κατανομή της δεν είναι καθ' όλο το έτος, αλλά περιορίζεται στους χειμερινούς μήνες. Για να είναι αποδοτική η κατασκευή πράσινων οροφών προτείνεται να συνδυαστούν με συστήματα συλλογής νερού και επαναχρησιμοποίησης νερού.

6.1.3 Εφαρμογή Διαπερατών Δαπέδων

Ένα άλλο ΑΣΔΟ, τα διαπερατά δάπεδα, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην αποθήκευση του νερού και στη μείωση του όγκου της απορροής. Μελετήσαμε την εφαρμογή τους σε χώρο στάθμευσης 3.300 m² κοντά στο κέντρο της πόλης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη συλλογή 1.800 m³ το έτος, νερό που θα ήταν χρήσιμο για την άρδευση χώρων πρασίνου. Επίσης, η απομάκρυνση αυτού του νερού από το δίκτυο ομβρίων έχει σημαντικά αποτελέσματα στη μείωση των πλημμυρικών απορροών αλλά και του φιλτραρίσματος του νερού και κατ' επέκταση της αύξησης της ποιότητας του κατά την απόθεση σε κάποιο φυσικό αποδέκτη.

Τα διαπερατά δάπεδα μπορούν να εφαρμόζονται και σε μικρές εφαρμογές. Μελετήθηκε η εφαρμογή σε χώρο στάθμευσης στο άκρο οδού και βρέθηκε ότι για ένα χώρο 2 θέσεων στάθμευσης, δηλαδή περίπου 35 m² μπορούν να κρατηθούν περίπου 15,75 m³ ετησίως. Εάν κατά τη διάρκεια συντηρήσεων και επιδιορθώσεων στο οδικό δίκτυο εφαρμοζόταν αυτή η μέθοδος στους χώρους στάθμευσης ή στις στάσεις λεωφορείων, θα μπορούσε να αμβλυνθούν τα φαινόμενα πλημμυρίσματος των δρόμων κατά τη βροχόπτωση χωρίς να υπάρχει σημαντική οικονομική επιβάρυνση κατά την κατασκευή, εφόσον θα γινόταν στο πλαίσιο της συντήρησης/επιδιόρθωσης.

6.1.4 Εφαρμογή Συστημάτων Βιοκατακράτησης

Ένα μέτρο για την αντιμετώπιση των τοπικών πλημμυρικών φαινομένων σε οδούς, είναι η εφαρμογή συστημάτων βιοκατακράτησης σε χώρους πρασίνου, νησίδες και κυκλικούς κόμβους. Το κόστος για την κατασκευή τους είναι σχετικά κοντά με τις συμβατικές κατασκευές, ενώ προσφέρει και άλλα οφέλη, όπως είναι η διήθηση του νερού στο έδαφος και ο καθαρισμός του. Εάν εφαρμοστούν τα διαπερατά δάπεδα σε προβληματικές περιοχές, μπορούν να απορροφούν μεγάλο ποσοστό του νερού στις βροχές.

Είναι εύκολη η εφαρμογή τους σε μεμονωμένες εφαρμογές, ενώ σε περίπτωση μη διαπερατών εδαφών, μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα για την καθυστέρηση της ροής.

6.2 Συζήτηση

Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής και της αστικοποίησης έχουν αναγνωριστεί ευρέως ως παγκόσμιο ζήτημα, λόγω των προσδοκώμενων επιδράσεων στα αστικά υδάτινα συστήματα, των αλλαγών που επιφέρουν στην απορροή νερού και στην εμφάνιση αστικών πλημμυρών (Hallegatte et al. 2011). Η αύξηση των αδιαπέρατων από το νερό επιφανειών (σφράγιση του εδάφους), έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφανειακής απορροής, την αύξηση της ταχύτητας και του χρόνου μέγιστης απορροής του νερού και την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού (Dietz 2007) το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των φυσικών αποδεκτών και τη μείωση της βιοποικιλότητας.

Εδώ και αρκετές δεκαετίες, έχει υιοθετηθεί η αειφορική αντιμετώπιση των ομβρίων υδάτων. Ανάλογα με τη χώρα έχει δοθεί διαφορετικό όνομα, αλλά η βασική φιλοσοφία είναι κοινή. Μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία παρατηρείται ότι οι περισσότερες τεχνικές Αειφορικής Διαχείρισης των Ομβρίων Υδάτων που παρουσιάστηκαν σε αυτή τη μεταπτυχιακή διατριβή, διαχειρίζονται με επιτυχία την απορροή, βελτιώνουν την ποιότητα του νερού, ενισχύουν τη βιοποικιλότητα και αναβαθμίζουν αισθητικά τις περιοχές που κατασκευάζονται. Η ενσωμάτωση των τεχνικών αυτών στις πόλεις, σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται η αντικατάσταση ή η επιδιόρθωση των υποδομών

αποτελεί ένα μέσο βελτίωσης της ποιότητας ζωής αλλά και ένα βήμα προς την εκπλήρωση των περιβαλλοντικών στόχων.

Επίσης, παρουσιάστηκαν οι περισσότερες τεχνικές αιεφορικής διαχείρισης των νερών της βροχής. Ακολούθως, έγινε επισκόπηση στην πόλη της Λεμεσού και παρουσιάστηκαν πιθανές εφαρμογές των τεχνικών αυτών σε συγκεκριμένους χώρους και κατασκευές. Επίσης, αξιολογήθηκε η εφαρμογή των συστημάτων συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού.

Οι πρακτικές αυτές που παρουσιάστηκαν μπορούν να υιοθετούνται παράλληλα με την επιδιόρθωση των οδών και των υποδομών ή με τις νέες αναπτύξεις γης (Garrison et al. 2011).

6.3 Συμπεράσματα

Η αιεφορική διαχείριση των υδάτων απαιτεί μία ολιστική, προσαρμοστική και συντονισμένη προσέγγιση. Παρά τη «νέα» φιλοσοφία, η διαχείριση των υδάτων παραμένει ένα σύνθετο και κατακερματισμένο πεδίο που στηρίζεται σε παραδοσιακές τεχνοκρατικές διοικητικές προσεγγίσεις (Brown & Farrelly 2009).

Παρά το ότι είναι διαθέσιμη πληθώρα τεχνικών και εργαλείων ΑΣΔΟ, στην πραγματικότητα η εφαρμογή τους παραμένει ένας πολύ δύσκολος στόχος. Είναι απαραίτητο οι εμπλεκόμενοι στον σχεδιασμό των συστημάτων διαχείρισης υδάτων να κατανοήσουν το ευρύ πεδίο του αιεφορικού σχεδιασμού και να εξετάσουν τον αστικό κύκλο του νερού συνολικά ως μια μονάδα. Συγχρόνως, οι κλιματικές αλλαγές και η περαιτέρω αστικοποίηση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα ΑΣΔΟ που εφαρμόζονται ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις μελλοντικές συνθήκες (Miguez et al. 2012).

Έτσι, το μέλλον των ΑΣΔΟ είναι πιθανότατα ένας συνδυασμός λύσεων υψηλού και χαμηλού τεχνολογικού επιπέδου, ώστε να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ του κόστους επένδυσης και της αποδοτικότητας. Ο συνδυασμός συγκεντρωμένων και αποκεντρωμένων συστημάτων θα είναι απαραίτητος για να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή και να ενισχυθεί η συνεργασία για τον αιεφορικό σχεδιασμό.

Σύμφωνα με μια μελέτη αναφορικά με το κόστος και τα ωφέληματα μιας εθνικής πολιτικής που θα προωθεί την αειφορική διαχείριση των ομβρίων, τα οφέλη υπερσχύουν του κόστους κατά \$34 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο και προσδίδουν περιβαλλοντικά οφέλη με κόστος κατασκευής 25% μικρότερο από ότι τα συμβατικά συστήματα (Ando & Netusil 2013).

Έτσι, διαπιστώνεται ότι υπάρχει η δυνατότητα για μεγαλύτερη υιοθέτηση και αλληλεπίδραση όλων των υδάτινων πόρων, δηλαδή του πόσιμου νερού, του νερού της βροχής και των υγρών λυμάτων, στον αστικό κύκλο του νερού (Mitchell 2006)

Υπάρχουν παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης νερού σε δημόσια πάρκα και σε νεόδμητες περιοχές στην Αυστραλία. Η επιλογή των χώρων αυτών συνήθως γίνεται με την κρίση εμπλεκόμενων στη διαχείριση από τους αρμόδιους φορείς. Η επιλογή των σωστών χώρων είναι πολύ σημαντική, γι' αυτό απαιτείται η χρήση εργαλείων (π.χ. η κατάρτιση χαρτών διαπερατότητας εδαφών) για τον εντοπισμό των βέλτιστων χώρων (Inamdar et al. 2013).

Οι Stewart και Hytiris (2008) παρουσίασαν διάφορα ΑΣΔΟ (κυρίως αυλάκια, τάφρους διήθησης και μια λεκάνη διήθησης) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για να μετριάσουν τον κίνδυνο σε μια αναπτυσσόμενη περιοχή. Στα αποτελέσματα που παρουσίασαν, διαφαίνεται η ελπιδοφόρα απόδοση των ΑΣΔΟ στην παροχή ικανής χωρητικότητας ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος των ακραίων βροχοπτώσεων και η ρύθμιση της ποιότητας νερού.

Οι Zhou et al. (2013) διεξήγαγαν μια μελέτη περίπτωσης που χρησιμοποιούσε τάφρους διήθησης (infiltration trenches) και λίμνες κατακράτησης (detention ponds) ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος πλημμυρών. Η μελέτη αυτή παρουσίασε τη μεγάλη δυνατότητα των λεκανών κατακράτησης στη μείωση της απορροής του νερού κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων και στην επιπρόσθετη παροχή πρόσθετων ψυχαγωγικών θελκτικότητων και χώρων αναψυχής στο αστικό τοπίο. Εντούτοις, υπήρξαν ανησυχίες όσο αφορά τη λειτουργία και τη συντήρηση των λιμνών στην πράξη λόγω π.χ. των γεωλογικών και χωρικών περιορισμών, προβλημάτων που σχετίζονται με την αστική διάβρωση, τη ρύπανση των υδάτων και την έλλειψη ρυθμιστικών μέτρων.

Οι Ahiablame et al. (2013) εκπόνησαν μελέτη η οποία αφορούσε συνδυασμό συστημάτων από διαπερατά δάπεδα και βαρέλια/δεξαμενές βροχής σε δύο περιοχές εμβαδού 40 και 70 km², στην Indianapolis. Μοντελοποιήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί από τους οποίους προέκυψε ότι η μείωση στην απορροή ήταν από 2 έως 12%. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η εφαρμογή 50% βαρελιών/ δεξαμενών βροχής, 50% διαπερατών δαπέδων ή 25% βαρελιών/ δεξαμενών βροχής και 25% διαπερατών δαπέδων είναι καλές επιλογές για την κατασκευή σε ήδη αναπτυγμένες περιοχές.

Οι Achleitner et al. (2007) διατύπωσαν ανησυχίες όσο αφορά στην υδραυλική διαπερατότητα και στην παρουσία ρυπογόνων ουσιών σε κανάλια διήθησης ομβρίων σε χώρους στάθμευσης. Τα αποτελέσματά τους, έδειξαν ότι μετά από περίπου 15 έτη λειτουργίας η υδραυλική ικανότητα τους ήταν κατά 75% ικανοποιητική ενώ η παρουσία ρύπων εντός του εδάφους ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων.

Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας έχει προκύψει ότι η εφαρμογή των ΑΣΔΟ απαιτεί το συνδυασμό γνώσεων από ειδικούς με διαφορετικά υπόβαθρα (Zhou 2014), ώστε να ενσωματώνονται οι πτυχές του προβλήματος και να επιτευχθεί η λήψη καινοτόμων και καινοτομικών λύσεων. Εντούτοις, οι περισσότεροι ειδικοί και επαγγελματίες τείνουν να δίνουν έμφαση και προτεραιότητα στους τομείς τους (Brown & Farrelly 2009), κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή τεχνικών και λύσεων που απευθύνονται μόνο σε μία συγκεκριμένη πτυχή του προβλήματος και αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν στις υπόλοιπες.

6.4 Εισηγήσεις

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εργασία δόθηκε έμφαση στην υιοθέτηση και ενσωμάτωση των ΑΣΔΟ σε αναπτυγμένες περιοχές. Ένα από τα πολλά οφέλη των ΑΣΔΟ, είναι ότι φορτίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Η Λεμεσός είναι παραθαλάσσια πόλη και οι περισσότεροι υδροφορείς της είναι σε κακή κατάσταση (ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε. 2015a). Τα συστήματα αυτά βελτιώνουν την ποιότητα του νερού και μέσω αυτών βελτιώνεται η ποιότητα του νερού που καταλήγει στους υδροφορείς, ενώ ταυτόχρονα ανεβαίνει η στάθμη τους με συνεπακόλουθο τη μείωση του φαινομένου υφαλμίρισης. Οι εισηγήσεις που προκύπτουν μετά από τη μελέτη αυτή είναι:

- ✓ Η αλλαγή νοοτροπίας κατά το σχεδιασμό έργων υποδομής από τις αρμόδιες αρχές ώστε αυτά να περιλαμβάνουν συστήματα κατακράτησης. Δεν δημιουργείται μεγάλο οικονομικό βάρος με τη μετατροπή των νησίδων και των χώρων πρασίνων σε κήπους βροχής ενώ συνοδεύεται από πολλά οφέλη.
- ✓ Να υιοθετηθεί από το κράτος η κατασκευή συστημάτων συλλογής και επαναχρησιμοποίησης νερού σε δημόσιους χώρους όπως σχολεία, δημόσια κτίρια κλπ. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σε τέτοιους χώρους με μεγάλο εμβαδό, θα μπορούσε να γίνει εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου από την πολιτεία, με την κατασκευή συστημάτων συλλογής ομβρίων που να παραλαμβάνουν τα νερά από τη γύρω περιοχή, συντελώντας έτσι σημαντική μείωση στην απορροή. Το νερό αυτό θα μπορούσε είτε να διηθείται στο έδαφος, είτε να χρησιμοποιείται για την άρδευση των χώρων πρασίνου.
- ✓ Κατά την κατασκευή νέων οικιών να προωθηθεί ή/και να επιχορηγηθεί από το κράτος η κατασκευή των κήπων ή τμημάτων τους ως κήπων βροχής. Επίσης, οι χώροι στάθμευσής τους μπορούν να κατασκευάζονται με διαπερατά υλικά.
- ✓ Να γίνει πιλοτική εφαρμογή κάποιων ΑΣΔΟ σε δημόσιο κτίριο για να λειτουργήσει ως παράδειγμα εφαρμογής. Επίσης, θα μπορεί να πραγματοποιηθεί μακροχρόνια μελέτη επιπτώσεων στην συγκεκριμένη εφαρμογή για να αντλήσουμε πληροφορίες.

Τέλος, μια οπτική γωνία που δεν εξετάστηκε στην διατριβή αυτή και χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση, αφορά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ορισμένων τεχνικών όπως είναι οι πράσινες οροφές και η μείωση που επιφέρουν στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Επίσης, ένα σημαντικό εργαλείο θα ήταν η κατάρτιση χαρτών διαπερατότητας εδάφους, ώστε να είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός των βέλτιστων θέσεων για την εφαρμογή ΑΣΔΟ.

Παράρτημα Α



Ορολογίες


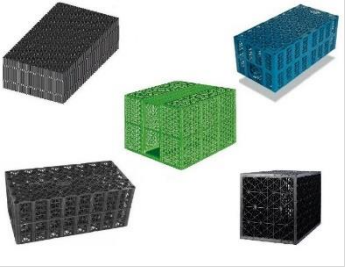

<u>Ελληνικός όρος</u>	<u>Αγγλικός όρος</u>	<u>Επεξήγηση</u>
Αιχμή πλημμύρας	Peak flow	
Υδρολογικός κύκλος	Hydrologic cycle	Ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σε αυτή την αλυσίδα το νερό εμφανίζεται με όλες τις μορφές: υγρό, αέριο (υδρατμοί), στερεό (χιόνι, χαλάζι).
Εξατμισοδιαπνοή	Evapotranspiration	Η εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού, που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα, με τη συνδυασμένη δράση της εξάτμισης και της διαπνοής.
Εξάτμιση	Evaporation	Η διαδικασία μεταφοράς του νερού από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών. Κατά τη διαδικασία αυτή, η κατανάλωση ηλιακής ενέργειας είναι απαραίτητη ώστε να γίνει η αλλαγή της φάσης του νερού από υγρή σε αέρια.
Διαπνοή	Transpiration	Η μετάβαση του νερού από την υγρή στην αέρια φάση, διαμέσου του σώματος των φυτών.
Κατακρήμνισμα	Precipitation	Το νερό που φτάνει από την ατμόσφαιρα στο έδαφος με οποιαδήποτε μορφή, είτε είναι υγρή (βροχή, δροσιά, βροχομίχλη) είτε στερεή (χαλάζι, χιόνι, πάχνη) και αέρια (υδρατμοί).
Απορροή	Runoff	Το μέρος των κατακρημνισμάτων το οποίο, αφού πέσει στην επιφάνεια της γης και ένα μέρος του κατακρατηθεί για τη συμπλήρωση των αναγκών του εδάφους, παραλαμβάνεται από τους χειμάρρους και οδηγείται με τη βαρύτητα στους τελικούς αποδέκτες (θάλασσα, λίμνες).




<u>Ελληνικός όρος</u>	<u>Αγγλικός όρος</u>	<u>Επεξήγηση</u>
Διήθηση	Infiltration	Το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και φθάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες
Συντελεστής διήθησης	Infiltration coefficient	Συντελεστής ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού που διηθείται σε σχέση με την ολική βροχόπτωση.
Αδιαπέρατη επιφάνεια	Impermeable surface	Είναι επιφάνεια που δεν επιτρέπει την κίνηση του νερού διαμέσου της μάζας της
Υδατοπερατή επιφάνεια	Permeable surface	Είναι επιφάνεια που επιτρέπει τη διείσδυση και κυκλοφορία του νερού διαμέσου της μάζας της
Υδροφορέας	Aquifer	Είναι γεωλογικοί σχηματισμοί που έχουν ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό.
Υδροφόρος ορίζοντας	water table ή groundwater table	Το άνω όριο του υδροφορέα.

Παράρτημα Β

Συνοπτική Παρουσίαση Συστημάτων Αειφορικής Διαχείρισης Ομβρίων

	Περιγραφή	Στόχοι – μέθοδοι διαχείρισης του νερού	Επιπτώσεις στην ποσότητα του νερού	Επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού	Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στο τοπίο
Πράσινες Οροφές (Green roofs) 	Η διαμόρφωση ενός κήπου επάνω στην ταράτσα ενός κτηρίου ή σε μία άλλη δομική κατασκευή.	Μείωση της απορροής Καθυστέρηση της απορροής Αποθήκευση νερού Επεξεργασία του νερού Εξοικονόμηση ενέργειας	☆☆☆	☆☆	☆☆☆
Λάκκοι διήθησης (Soak aways)	Βαθιά εκσκαφή γεμισμένη με πορώδες υλικό το οποίο μπορεί να φιλτράρει το νερό και επιτρέπει να διηθείται στο έδαφος	Αποθήκευση του νερού της απορροής Φιλτράρισμα του νερού Επαναφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα	☆☆☆	☆☆☆	☆
Βαρέλια βροχής (Rain barrels) 	Βαρέλια συνδεδεμένα με τις υδρορροές των οροφών για τη συλλογή του νερού της βροχής	Εξοικονόμηση νερού για άρδευση	☆☆☆	☆☆	☆

	Περιγραφή	Στόχοι – μέθοδοι διαχείρισης του νερού	Επιπτώσεις στην ποσότητα του νερού	Επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού	Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στο τοπίο
<p>Διαπερατά δάπεδα (permeable or porous pavements)</p> 	<p>Επιφάνειες που επιτρέπουν στο νερό να διηθείται διαμέσου της μάζας τους στο υπέδαφος</p>	<p>Μείωση της απορροής Καθυστέρηση της απορροής Επεξεργασία του νερού</p>	☆☆☆	☆☆☆	☆
<p>Geocellular systems</p> 	<p>Πλαστικές διάτρητες δεξαμενές που παρέχουν χώρο για την αποθήκευση του νερού και τη διήθηση του στο έδαφος</p>	<p>Μεγιστοποίηση του όγκου αποθήκευσης νερού</p>	☆☆☆	☆	☆
<p>Συστήματα βιοκατακράτησης</p> 	<p>Κοιλότητες του εδάφους που έχουν σχεδιαστεί ώστε να δέχονται τα νερά της βροχής.</p>	<p>Μείωση της επιφανειακής απορροής Επαναφόρτιση του υπόγειου ορίζοντα Επεξεργασία του νερού</p>	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆

	Περιγραφή	Στόχοι – μέθοδοι διαχείρισης του νερού	Επιπτώσεις στην ποσότητα του νερού	Επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού	Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στο τοπίο
<p>Τάφροι διήθησης (Infiltration trench)</p> 	<p>Ρηχές και μακριές εκσκαφές πληρωμένες με κατάλληλο υλικό, το οποίο διαθέτει κενά και επιτρέπει την προσωρινή αποθήκευση του νερού και στη συνέχεια την αργή διήθησή του προς το υπέδαφος</p>	<p>Μείωση της επιφανειακής απορροής Επαναφόρτιση του υπόγειου ορίζοντα Επεξεργασία του νερού</p>	☆☆☆	☆☆	☆☆☆
<p>Λωρίδες φιλτραρίσματος filter strips</p> 	<p>Λωρίδες γης που έχουν μικρή κλίση, φυτεμένες με γρασίδι ή άλλη βλάστηση</p>	<p>Φιλτράρισμα της απορροής</p>	☆☆	☆☆☆	☆☆
<p>Κήπος βροχής (rain garden)</p> 	<p>Κουιότητα στην οποία το έδαφος έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα από ότι το έδαφος που την περιβάλλει και η οποία παρέχει αποθήκευση του νερού και γρήγορη διήθηση του στο έδαφος.</p>	<p>Φιλτράρισμα νερού Αποθήκευση απορροής Ενίσχυση του υδροφορέα</p>	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆

	Περιγραφή	Στόχοι – μέθοδοι διαχείρισης του νερού	Επιπτώσεις στην ποσότητα του νερού	Επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού	Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στο τοπίο	
	Αυλάκια (swales)	Ρηχά φυτεμένα αυλάκια με μικρή κλίση πρανών και επίπεδο πυθμένα	Αποθήκευση και καθυστέρηση απορροής Φιλτράρισμα νερού	☆☆☆	☆☆☆	☆☆
	Ξηρές λίμνες (Λίμνες κατακράτησης)	Φυτεμένες κοιλάτιες του εδάφους που αποθηκεύουν προσωρινά την απορροή και στη συνέχεια την προωθούν κατάντη με αργό ρυθμό	Καθυστέρηση απορροής	☆☆	☆☆☆	☆☆
	Υγρότοποι (Wetlands)	Μικρές λίμνες που αποθηκεύουν νερό και το προωθούν κατάντη με αργό ρυθμό	Φιλτράρισμα νερού και κατακάθιση ρύπων	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
	Υγρές λίμνες (Λίμνες διήθησης)	Λίμνες που αποθηκεύουν μόνιμα νερό και το διηθούν στο υπέδαφος.	Φιλτράρισμα νερού και κατακάθιση ρύπων Αποθήκευση απορροής Διήθηση νερού στο υπέδαφος	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆

Παράρτημα Γ

Οφέλη των Συστημάτων Αειφορικής Διαχείρισης Ομβρίων

Πηγή (Kellagher et al. 2015)

Notes

- 1 Only the most significant beneficiaries are listed. Actual beneficiaries will depend on the scheme
- 2 Immediate = potentially even before the scheme is complete; short term = within the first 5 years; medium term = 5-10 years; long term = 10+ years (note that these are only indicative and will depend on the scheme)
- 3 See Chapter 3-6 of The SUDS Manual for more detailed descriptions of the types of benefits and how these can be achieved

Benefits provided by SuDS	Aspects of the SuDS design that provide this benefit	Who is likely to benefit? ¹	How soon is the benefit likely to be realised? ²	Type of benefit ³			
				Water quantity	Water quality	Amenity	Biodiversity
Air quality	Air particulate filtering via vegetation (eg trees and green roofs)	Community, local authority, environmental regulator	Medium term			✓	
Air and building temperature (thermal comfort and energy savings)	Green and blue spaces, green roofs	Community, businesses	Short term			✓	
Biodiversity and ecology	Habitat creation and enhancement, connecting habitats	Community, environmental regulator, local and national conservation groups, local authority	Medium term				✓
Carbon emission reduction and sequestration	Low energy needs (materials, construction and maintenance), sequestration (eg trees and wetlands)	Developer, community, businesses	Immediate (energy needs) Long term (sequestration)			✓	
Climate resilience	Designing for exceedance, adaptability of scheme; also see air and building temperature, flood risk, groundwater recharge and soil moisture levels, security of water supply, sewerage systems and sewage treatment works available capacity	Community, local authority (and many others depending on the level of climate change experienced in the future and which benefits are affected)	Medium to long term	✓	✓	✓	✓
Community cohesion and crime reduction	See visual character, economic growth/inward investment and education	Community, local authority, local police force	Medium term			✓	
Economic growth and inward investment (including tourism, productivity and property prices)	See visual character, recreation and air and building temperature	Developer, community, businesses, local authority	Immediate (property prices) Medium term (others)			✓	

Benefits provided by SuDS	Aspects of the SuDS design that provide this benefit	Who is likely to benefit? ¹	How soon is the benefit likely to be realised? ²	Type of benefit ³			
				Water quantity	Water quality	Amenity	Biodiversity
Education opportunities	Community engagement (before and after construction), legibility, information boards, education programmes, play features	Community, local schools	Immediate (community engagement) Short to medium term (others)			✓	
Flood risk reduction	Peak flow attenuation, volume control	Community, local authority, local flood authority, local emergency services	Short term	✓			
Groundwater and soil moisture recharge	Interception, infiltration, runoff treatment	Water supply company, community	Medium term	✓	✓		
Health and wellbeing	See air quality, air and building temperature, recreation, crime reduction, reduced flood risk (including mental health), plus others to a lesser extent	Community, health authority	Medium to long term			✓	
Noise reduction	Green and blue spaces, green roofs	Community	Short to medium term			✓	
Recreation	Green and blue spaces and play features	Community, local authority	Short term			✓	
Security of water supply	Rainwater harvesting; also see groundwater and soil moisture recharge	Water supply company, Community	Short term	✓		✓	
Sewerage systems and sewage treatment works available capacity (including reduced CSO spills)	Interception and further runoff volume reduction	Sewerage undertaker, community	Short term	✓	✓		
Visual character	Visual enhancement (as part of surface SuDS)	Community, developer, local authority	Short term			✓	
Water quality	Pollution prevention strategies, interception, runoff treatment	Local authority, drainage board, environmental regulator, rivers and other waterways authorities, community	Short term		✓		

Παράρτημα Δ

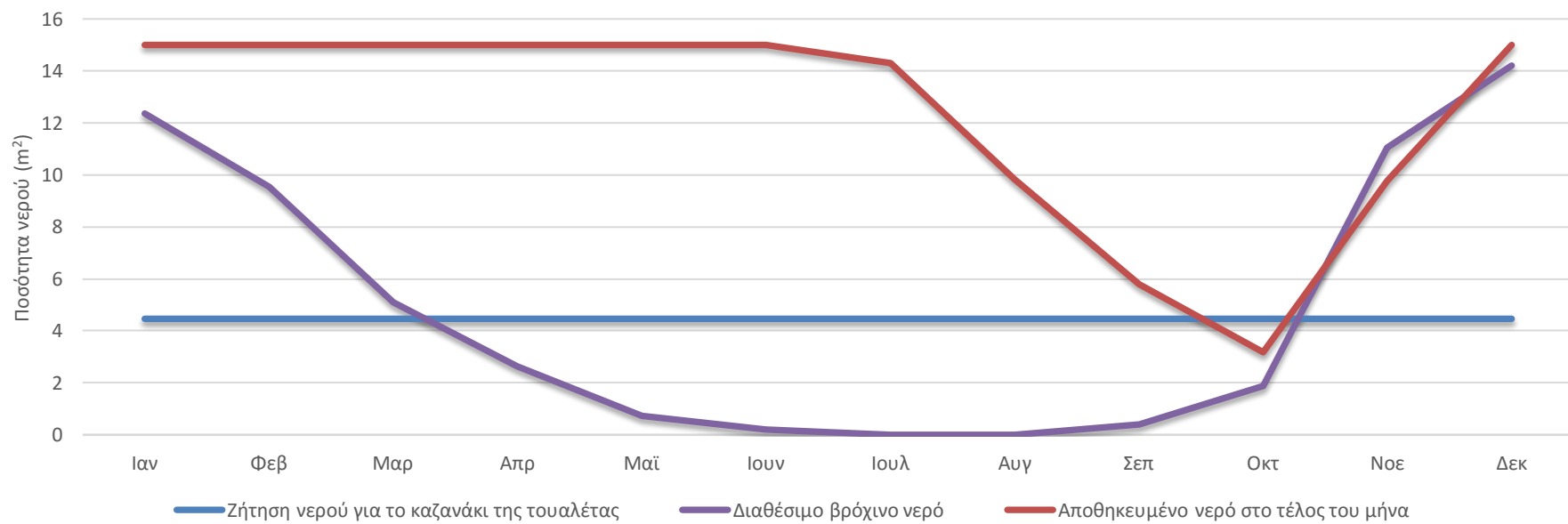
Υπολογισμός Όγκου Συστήματος Συλλογής και Επαναχρησιμοποίησης Νερού
σε Κατοικία

Εμβαδό περιοχής αποστράγγισης (Catchment area) (m ²):	150
Collection efficiency (%):	95%
Αριθμός ατόμων	4
Οικιακή Ζήτηση νερού ανά ημέρα (lt/day)	560
Χρήση νερού για τα αποχωρητήρια (lt)	144

Αρχικός Όγκος Νερού στη Δεξαμενή (m ³): *θεωρείται γεμάτη κατά το μήνα Ιανουάριο	15
Όγκος Δεξαμενής (m ³)	15

Μήνας	Ζήτηση νερού για το καζανάκι της τουαλέτας	Μέση μηνιαία Βροχόπτωση	Διαθέσιμο βρόχινο νερό	Αποθηκευμένο νερό στο τέλος του μήνα	Νερό για τη συμπλήρωση των αναγκών
	m ³	mm/m ²	m ³	m ³	m ³
Ιαν	4,464	86,7	12,4	15,0	0,0
Φεβ	4,464	66,9	9,5	15,0	0,0
Μαρ	4,464	35,8	5,1	15,0	0,0
Απρ	4,464	18,4	2,6	15,0	0,0
Μαϊ	4,464	5,1	0,7	15,0	0,0
Ιουν	4,464	1,4	0,2	15,0	0,0
Ιουλ	4,464	0	0,0	14,3	0,0
Αυγ	4,464	0	0,0	9,8	0,0
Σεπ	4,464	2,9	0,4	5,8	0,0
Οκτ	4,464	13,1	1,9	3,2	1,3
Νοε	4,464	77,5	11,0	9,8	0,0
Δεκ	4,464	99,7	14,2	15,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	53,568	407,5	58,07		1,3

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ



Παράρτημα Ε

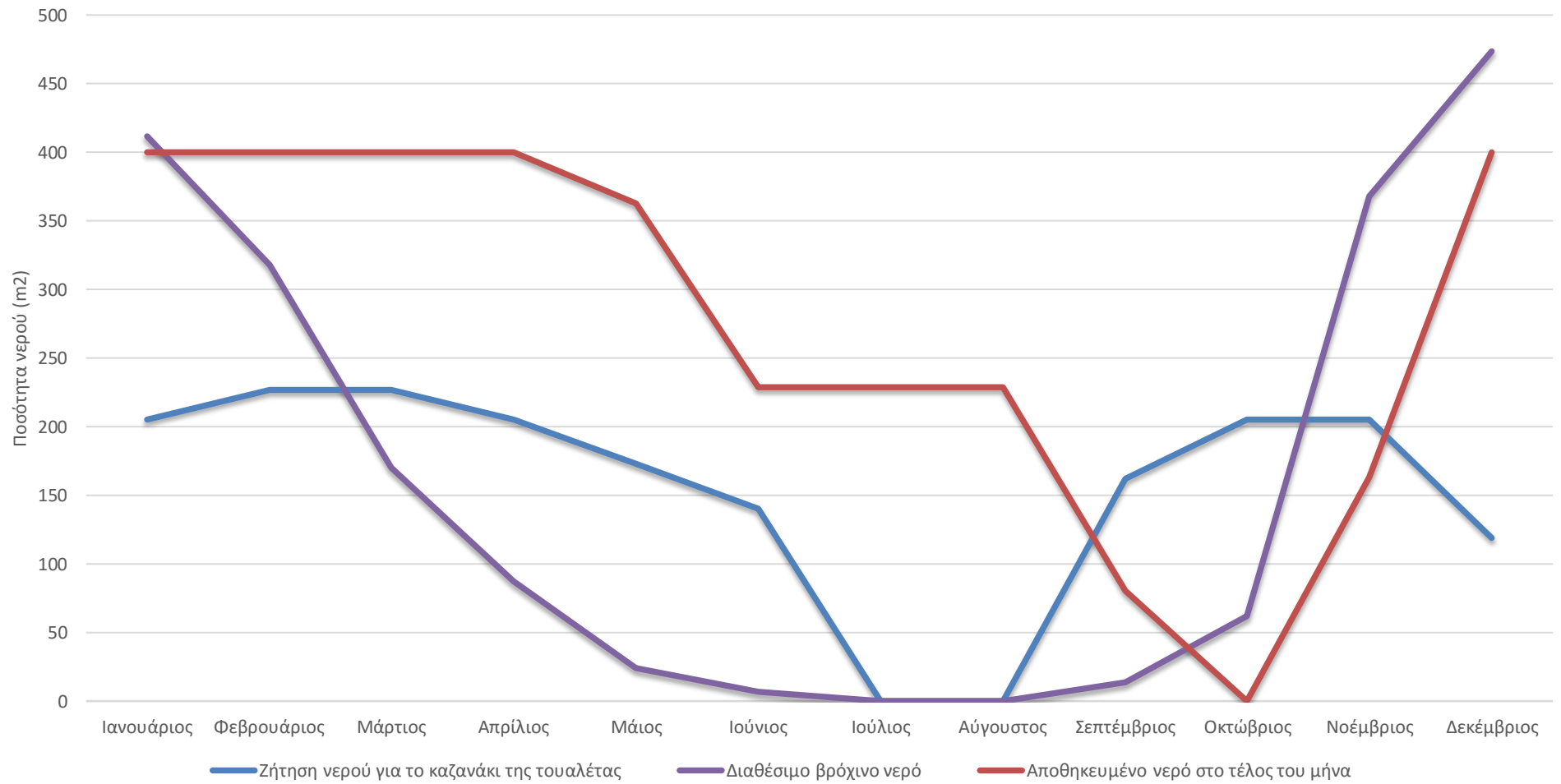
Υπολογισμός Όγκου Συστήματος Συλλογής και Επαναχρησιμοποίησης Νερού
στο Λανίτειο

Εμβαδό περιοχής αποστράγγισης (Catchment area) (m ²):	5000
Collection efficiency (%):	95%
Αριθμός ατόμων	1800
Χρήση νερού για τα αποχωρητήρια από τα 2/3 των ατόμων (lt/day)	10800

Αρχικός Όγκος Νερού στη Δεξαμενή (m ³): <small>*θεωρείται γεμάτη κατά το μήνα Ιανουάριο</small>	400
Όγκος Δεξαμενής (m ³)	400

Μήνας	Αριθμός ημερών λειτουργίας	Ζήτηση νερού για το καζανάκι της τουαλέτας	Μέση μηνιαία Βροχόπτωση	Διαθέσιμο βρόχινο νερό	Αποθηκευμένο νερό στο τέλος του μήνα	Νερό για τη συμπλήρωση των αναγκών
		m ³	mm/m ²	m ³	m ³	m ³
Ιαν	19	205,2	86,7	411,8	400,0	0,0
Φεβ	21	226,8	66,9	317,8	400,0	0,0
Μαρ	21	226,8	35,8	170,1	400,0	0,0
Απρ	19	205,2	18,4	87,4	400,0	0,0
Μαϊ	16	172,8	5,1	24,2	362,7	0,0
Ιουν	13	140,4	1,4	6,7	228,9	0,0
Ιουλ	0	0	0	0,0	228,9	0,0
Αυγ	0	0	0	0,0	228,9	0,0
Σεπ	15	162	2,9	13,8	80,7	81,3
Οκτ	19	205,2	13,1	62,2	0,0	205,2
Νοε	19	205,2	77,5	368,1	162,9	42,3
Δεκ	11	118,8	99,7	473,6	400,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	173	1868,4	407,5	1935,6		328,8

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ



Βιβλιογραφία

- Abdulla, F.A. & Al-Shareef, A.W., 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1-3), pp.195–207.
- Abi Aad, M.P., Suidan, M.T. & Shuster, W.D., 2010. Modeling Techniques of Best Management Practices: Rain Barrels and Rain Gardens Using EPA SWMM-5. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), pp.434–443.
- Achleitner, S. et al., 2007. Local infiltration devices at parking sites – Experimental assessment of temporal changes in hydraulic and contaminant removal capacity. *Water Science & Technology*, 55(4), p.193. Available at: <http://www.iwaponline.com/wst/05504/wst055040193.htm>.
- Ahiablame, L.M., Engel, B. a. & Chaubey, I., 2013. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of Environmental Management*, 119, pp.151–161. Available at: http://ac.els-cdn.com/S0301479713000571/1-s2.0-S0301479713000571-main.pdf?_tid=42a1e536-cf62-11e5-b8fd-00000aab0f6b&acdnat=1455045843_52ffbd4593b6f4b0b042b93adb4b9146.
- Ando, A.W. & Netusil, N.R., 2013. A Tale of Many Cities: Using Low-Impact Development to Reduce Urban Water Pollution. *Choices*, 28(3), pp.1–7. Available at: <http://www.choicesmagazine.org/archives\http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ecn&AN=1441686&site=ehost-live&scope=site>.
- Angelakis, A.N., Koutsoyiannis, D. & Tchobanoglous, G., 2005. Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece. *Water Research*, 39(1), pp.210–220. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135404004397>.
- Arlington County Government, 2016. Powhatan Springs Park. *Arlington County Government*. Available at: <https://parks.arlingtonva.us/locations/powhatan-springs-park/> [Accessed May 26, 2016].
- Arnbjerg-Nielsen, K., 2012. Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, 9(2), pp.57–65.
- Arora, A.S. & Reddy, A.S., 2013. Multivariate analysis for assessing the quality of

- stormwater from different Urban surfaces of the Patiala city, Punjab (India). *Urban Water Journal*, 10(6), pp.422–433. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2012.739629>.
- Authority, T. and R.C. & Credit Valley Conservation Authority, 2010. *Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide*, Available at: http://www.sustainabletechnologies.ca/wp/wp-content/uploads/2013/01/LID-SWM-Guide-v1.0_2010_1_no-appendices.pdf [Accessed May 15, 2016].
- Bach, P.M. et al., 2014. A critical review of integrated urban water modelling Urban drainage and beyond. *Environmental Modelling & Software*, 54, pp.88–107. Available at: <Go to ISI>://WOS:000332267300008.
- Bäckström, M., 2002. Sediment transport in grassed swales during simulated runoff events. In *Water Science and Technology*. pp. 41–49.
- Balades, J.D., Legret, M. & Madiec, H., 1995. Permeable pavements: Pollution management tools. In *Water Science and Technology*. pp. 49–56.
- Basinger, M., Montalto, F. & Lall, U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3–4), pp.105–118.
- Baumann, N., 2006. Ground nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations. *Urban Habitats*, 4(1), p.11. Available at: http://urbanhabitats.org/v04n01/birds_full.html.
- 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.
- Beattie, D.J. & Jarrett, A.R., 2009. Green Roofs for Stormwater Runoff Control. *Environmental Protection*, EPA/(February), p.81. Available at: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r09026/600r09026.pdf>.
- Benedict, M. a & McMahon, E.E.T., 2002. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, (Autumn), pp.12–18. Available at: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20023166678.html>.
- Bergman, M. et al., 2011. Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation. *Water Science and Technology*, 63(10), pp.2279–2286.
- Berndtsson, J.C., Bengtsson, L. & Jinno, K., 2009. Runoff water quality from intensive and

- extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35(3), pp.369–380.
- Berz, G., 2000. Flood disasters: lessons from the past—worries for the future. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water and Maritime Engineering*, 142(1), pp.3–8. Available at: <http://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/wame.2000.142.1.3?journalCode=jwmee>.
- Blake, J.R., 2010. Adjusting soil infiltration coefficients for groundwater level. *Proceedings of the ICE: Water Management*, 163(5), pp.239–245. Available at: <http://www.icevirtuallibrary.com/content/article/10.1680/wama.2010.163.5.239>.
- Blunt, S.M., 2008. Trees and pavements - Are they compatible? *Arboricultural Journal*, 31(2), pp.73–80. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-49549086862&partnerID=tZ0tx3y1>.
- Brattebo, B.O. & Booth, D.B., 2003. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research*, 37(18), pp.4369–4376.
- Bray, B. et al., 2012. *Rain Garden Guide*, Available at: <http://raingardens.info/wp-content/uploads/2012/07/UK-Rain-Garden-Guide.pdf> [Accessed February 27, 2016].
- Brown, R.R. & Farrelly, M.A., 2009. Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. *Water Science & Technology*, 59(5), p.839. Available at: <http://www.iwaponline.com/wst/05905/wst059050839.htm>.
- Brown, S.A. et al., 2013. *Urban Drainage Design Manual*, Available at: http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_arc.cfm?pub_number=22&id=140 [Accessed May 15, 2016].
- Brundtland, G.H., 1987. *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*, Available at: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> [Accessed May 21, 2016].
- Burns, M.J. et al., 2012. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and Urban Planning*, 105(3), pp.230–240. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.012>.
- Burrell, B.C., Davar, K. & Hughes, R., 2007. A Review of Flood Management Considering the Impacts of Climate Change. *Water International*, 32(November), pp.342–359.
- Burton, G.A., Jr. & Pitt, R., 2001. *Stormwater Effects Handbook: A Toolbox for Watershed*

- Managers, Scientists, and Engineers*, CRC Press. Available at: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=NvXKBQAAQBAJ&pgis=1> [Accessed January 15, 2016].
- Butler, D. & Davies, J., 2004. *Urban Drainage, Second Edition*, CRC Press. Available at: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=yGpx1NAY4JwC&pgis=1> [Accessed January 15, 2016].
- Carter, J.G., 2011. Climate change adaptation in European cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), pp.193–198.
- Carter, T. & Jackson, C.R., 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2), pp.84–94.
- Charlesworth, S.M., 2010. A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities. *Journal of Water and Climate Change*, 1(3), p.165. Available at: <http://www.iwaponline.com/jwc/001/jwc0010165.htm>.
- Chen, Y. & Wong, N.H., 2006. Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings*, 38(2), pp.105–120. Available at: <http://isfahan.ir/Dorsapax/userfiles/file/thermallatin.pdf> [Accessed March 23, 2016].
- Chesapeake Stormwater Network, 2016. Urban Filter Strips. Available at: <http://chesapeakestormwater.net/bay-stormwater/urban-stormwater-workgroup/urban-filter-strips/> [Accessed May 22, 2016].
- Chocat, B. et al., 2007. Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water. *Indoor and Built Environment*, 16(3), pp.273–285.
- Church, S.P., 2015. Exploring Green Streets and rain gardens as instances of small scale nature and environmental learning tools. *Landscape and Urban Planning*, 134, pp.229–240. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.021>.
- City of Philadelphia, 2014. City of Philadelphia Green Streets Design Manual. Available at: http://www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf [Accessed April 19, 2016].
- Coffman, R.R. & Davis, G., 2005. Insect and Avian Fauna on the Ford Assembly Plant Ecoroof. In *Greening Rooftops for Sustainable Communities*. p. 12.
- Collins, K. a, Hunt, W.F. & Hathaway, J.M., 2007. Hydrologic and Water Quality Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina. , p.91. Available at: <http://www.bae.ncsu.edu/info/permeable->

- pavement/ICPI.2007Report.Final.EDITED.pdf [Accessed February 9, 2016].
- Copernicus Land Monitoring Services, 2016. CORINE Land Cover. Available at: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> [Accessed March 29, 2016].
- Crawford, P. & Groundwork Greater Nottingham, 2013. *Nottingham greening streets – Retrofit Rain Garden Project*, Available at: http://www.susdrain.org/case-studies/case_studies/nottingham_greening_streets_retrofit_rain_garden_project.html [Accessed February 27, 2016].
- Davis, A.P., 2008. Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(2), pp.90–95.
- Dawson, R.J. et al., 2011. Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. *Global Environmental Change*, 21(2), pp.628–646. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378011000148>.
- Dickie, S. et al., 2010. *Planning for SuDs – making it happen (C687)*,
- Dietz, M.E., 2007. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 186(1-4), pp.351–363.
- Domènech, L., March, H. & Saurí, D., 2013. Degrowth initiatives in the urban water sector? A social multi-criteria evaluation of non-conventional water alternatives in Metropolitan Barcelona. *Journal of Cleaner Production*, 38, pp.44–55.
- Durhman, A.K., Rowe, D.B. & Rugh, C.L., 2007. Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 42(3), pp.588–595.
- Ekström, M. et al., 2005. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. *Journal of Hydrology*, 300(1-4), pp.234–251. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169404002823>.
- Elliott, A. & Trowsdale, S., 2007. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modelling & Software*, 22(3), pp.394–405. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815206000053>.
- EPA, 2007. *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices*, Available at:

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/60000LWT.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&> [Accessed May 22, 2016].

Fassman, E. a. & Blackbourn, S., 2010. Urban Runoff Mitigation by a Permeable Pavement System over Impermeable Soils. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), pp.475–485. Available at: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=347b08a6-e0bb-43ae-987f-9dc3bdbae7ad%40sessionmgr4001&hid=4111> [Accessed February 23, 2016].

Fletcher, T.D., Andrieu, H. & Hamel, P., 2013. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, pp.261–279.

France, R.L., 2002. *Handbook of Water Sensitive Planning and Design*, CRC Press. Available at: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=4_29hLqCTpEC&pgis=1 [Accessed January 15, 2016].

Fratini, C.F. et al., 2012. Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 9(5), pp.317–331. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2012.668913>.

Fryd, O. et al., 2009. *Connected disconnections*, Copenhagen. Available at: http://ign.ku.dk/forskning/landskabsarkitektur-planlaegning/landskabsteknologi/2bg-black-blue-green/filer/2bg_harrestrupaa_booklet_uk_web.pdf [Accessed October 26, 2015].

Gambolati, G., Teatini, P. & Gonella, M., 2002. GIS simulations of the inundation risk in the coastal lowlands of the Northern Adriatic Sea. *Mathematical and Computer Modelling*, 35(9-10), pp.963–972.

Garrison, N., Hobbs, K. & Natural Resources Defense Council, 2011. Rooftops to Rivers II : Green strategies for controlling stormwater and combined sewer overflows. *Environmental Protection*, p.134. Available at: <http://www.nrdc.org/water/pollution/rooftopsii/files/rooftopstoriversII.pdf> [Accessed May 3, 2016].

- Getter, K.L. & Rowe, D.B., 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), pp.1276–1285.
- Gomes, U.A.F., Pena, J.L. & Heller, L., 2012. A National Program for Large Scale Rainwater Harvesting: An Individual or Public Responsibility? *Water Resources Management*, 26(9), pp.2703–2714.
- Green 4 Cities, 2014. Gravel turfs – blooming parking places | green4cities. Available at: <http://www.green4cities.com/?p=121> [Accessed May 2, 2016].
- Groenewegen, P.P. et al., 2006. Vitamin G: effects of green space on health, well-being, and social safety. *BMC public health*, 6, p.149. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33746303366&partnerID=tZ0tx3y1>.
- Hallegatte, S. et al., 2011. Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: A case study on Copenhagen. *Climatic Change*, 104(1), pp.113–137.
- Hatt, B.E. et al., 2004. The influence of urban density and drainage infrastructure on the concentrations and loads of pollutants in small streams. *Environmental management*, 34(1), pp.112–124.
- Heal, K., 2000. SUDS Ponds in Scotland–Performance Outcomes to Date. *Proc*, pp.1–8. Available at: <http://www.isaes2011.org.uk/homes/kheal/conconf.pdf>.
- Heasom, W., Traver, R.G. & Welker, A., 2006. Hydrologic modeling of a bioinfiltration best management practice. *Journal of the American Water Resources Association*, 42, pp.1329–1347. Available at: <Go to ISI>://000241909300014.
- Hunt, W.F. et al., 2008. Pollutant Removal and Peak Flow Mitigation by a Bioretention Cell in Urban Charlotte, N.C. *Journal of Environmental Engineering*, 134(5), pp.403–408.
- Huong, H.T.L. & Pathirana, a., 2011. Urbanization and climate change impacts on future urban flood risk in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(6), pp.10781–10824.
- Inamdar, P.M. et al., 2013. A GIS based screening tool for locating and ranking of suitable stormwater harvesting sites in urban areas. *Journal of environmental management*, 128, pp.363–70. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23786875>.
- International Green Roof Association, 2016. Construction • Information on Green Roofs • IGRA. Available at: http://www.igra-world.com/engineering/construction_engineering.php [Accessed January 15, 2016].
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II*

- and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Available at: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf [Accessed January 20, 2016].
- Jayasuriya, L.N.N. et al., 2007. Contributing to the sustainable use of stormwater: the role of pervious pavements. *Water Science & Technology*, 56(12), p.69. Available at: <http://www.iwaponline.com/wst/05612/wst056120069.htm>.
- Jennings, A. a et al., 2013. Rain Barrel – Urban Garden Stormwater Management Performance. *Journal of Environmental Engineering*, (May), pp.757–765.
- Jojo Tanks, 2016. Jojo Vertical Rainwater Harvesting Tanks. Available at: <http://www.jojotanks.co.za/products/verticaltanks>.
- Jungels, J. et al., 2013. Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. *Landscape and Urban Planning*, 117, pp.13–21.
- Karteris, M., Mallinis, G. & Tsiros, E., 2016. Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data., 58, pp.510–525.
- Kazemi, F., Beecham, S. & Gibbs, J., 2011. Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 101(2), pp.139–148. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.006>.
- Kellagher, R. et al., 2015. *The SUDS manual*, Available at: <http://www.persona.uk.com/A47postwick/deposit-docs/DD-181.pdf>.
- Kevern, J. et al., 2006. Pervious concrete construction: Methods and quality control. *Concrete Technology Forum-Focus on Pervious Concrete, National Ready Mix Concrete Association*, pp.1–14. Available at: [http://www.rmc-foundation.org/images/PCRCFiles/ConstructionTechniques/Pervious Concrete Construction - Methods and Quality Control.pdf](http://www.rmc-foundation.org/images/PCRCFiles/ConstructionTechniques/PerviousConcreteConstruction-MethodsandQualityControl.pdf) [Accessed February 21, 2016].
- Kingsbury, N. & Dunnett, N., 2008. Planting Green Roofs and Living Walls. *Journal of Environment Quality*, 37(6), p.2408.
- Kirkpatrick, J.B., Davison, A. & Daniels, G.D., 2012. Resident attitudes towards trees influence the planting and removal of different types of trees in eastern Australian cities. *Landscape and Urban Planning*, 107(2), pp.147–158.
- Koutsoyiannis, D. et al., 2008. Urban Water Management in Ancient Greece : , (February),

pp.45–55.

- Kowalsky, G.B. & Thomason, K.P.E., 2011. Cistern Design Considerations for Large Rainwater Harvesting Systems. *Construction Products INC.*, (September). Available at: <http://www.conteches.com/knowledge-center/pdh-article-series/cistern-designs-large-rainwater-harvesting-systems> [Accessed May 26, 2016].
- Kwiatkowski, M. et al., 2007. Evaluation of an infiltration best management practice utilizing pervious concrete. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(5), pp.1208–1222. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1752-1688.2007.00104.x> [Accessed February 22, 2016].
- Laforteza, R. et al., 2009. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry and Urban Greening*, 8(2), pp.97–108.
- LANDIS, 2016. LandIS - Land Information System - Tools and utilities. *Cranfield University*. Available at: <http://www.landis.org.uk/services/tools.cfm> [Accessed April 23, 2016].
- Landscape Architecture Foundation, 2007. ASLA Headquarters Green Roof. *Landscape performance series*. Available at: <http://landscapeperformance.org/case-study-briefs/asla-headquarters-green-roof>.
- Langenbach, P.H., Eckart, D.J. & Schröder, D.G., 2008. Water Sensitive Urban Design – results and principles. *3rd SWITCH Scientific Meeting*, (December), pp.1–8.
- Larsen, T. a. & Gujer, W., 1997. The concept of sustainable urban water management. *Water Science & Technology*, 35(9), pp.3–10. Available at: <http://www.iwaponline.com/wst/03509/wst035090003.htm> \n<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273122397001790>.
- Li, C., 2012. Ecohydrology and good urban design for urban storm water-logging in Beijing, China. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 12(4), pp.287–300. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1642359312702112>.
- Li, H. et al., 2009. Mitigation of Impervious Surface Hydrology Using Bioretention in North Carolina and Maryland. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(4), pp.407–415.
- Liptan, T. & Strecker, E., 2003. EcoRoofs (greenroofs) - a more sustainable infrastructure. *National Conference on Urban Storm Water: Enhancing Programs at the Local Level*, pp.198–214.
- Loder, A., 2016. Green Roofs. *Blog at WordPress.com*. Available at: <https://greeningthecity.wordpress.com/green-roofs/> [Accessed April 11, 2016].

- Low Impact Development Center, 2007. LID Urban Design Tools - Green Roofs. 1999-2007. Available at: http://www.lid-stormwater.net/greenroofs_home.htm [Accessed September 14, 2015].
- Lucke, T., Mohamed, M. & Tindale, N., 2014. Pollutant Removal and Hydraulic Reduction Performance of Field Grassed Swales during Runoff Simulation Experiments. *Water*, 6(7), pp.1887–1904. Available at: <http://www.mdpi.com/2073-4441/6/7/1887/>.
- Maas, J. et al., 2006. Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of epidemiology and community health*, 60(7), pp.587–92. Available at: <http://jech.bmj.com/content/60/7/587.short>.
- Mahmoud, W.H. et al., 2014. Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. *Resources, Conservation and Recycling*, 91, pp.89–99. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344914001670>.
- Mailhot, A. & Duchesne, S., 2010. Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(April), pp.201–208.
- Mentens, J., Raes, D. & Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), pp.217–226.
- Miguez, M., Veról, A. & Carneiro, P., 2012. Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalisation Aspects. *InTech*. Available at: <http://www.persona.uk.com/A47postwick/deposit-docs/DD-181.pdf> \nhttp://cdn.intechopen.com/pdfs/30387/InTech-Sustainable_drainage_systems_an_integrated_approach_combining_hydraulic_engineering_design_urban_land_control_and_river_revitalisation_aspects.pdf.
- Mitchell, G., 2005. Mapping hazard from urban non-point pollution: A screening model to support sustainable urban drainage planning. *Journal of Environmental Management*, 74(1), pp.1–9.
- Mitchell, V.G., 2006. Applying integrated urban water management concepts: a review of Australia experience. *Journal of Environmental Management*, 37(5), pp.589–605.
- Mullaney, J., Lucke, T. & Trueman, S.J., 2015. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*,

- 134, pp.157–166. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920461400245X> [Accessed November 17, 2014].
- Nagase, A. & Dunnett, N., 2012. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning*, 104(3-4), pp.356–363.
- NetRegs, 2016. Permeable paving in sustainable urban drainage systems (SUDS). Available at: http://www.netregs.org.uk/library_of_topics/water/sustainable_urban_drain_system/permeable_paving_in_suds.aspx [Accessed April 12, 2016].
- New York State, 2007. *New York State Stormwater Management Design Manual - Redevelopment Projects*, New York. Available at: http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/swdmredevelop.pdf [Accessed May 4, 2016].
- Nowak, D.J. & Crane, D.E., 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. In *Environmental Pollution*. pp. 381–389.
- Oberndorfer, E. et al., 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10), p.823.
- Pataki, D.E. et al., 2006. Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Global Change Biology*, 12(11), pp.2092–2102.
- Prokop, G., Jobstmann, H. & Schönbauer, A., 2011. *Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects*, Available at: [http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/sealing/Soil sealing - Final Report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/sealing/Soil_sealing_-_Final_Report.pdf) [Accessed January 20, 2016].
- RainHarvest Systems, 2016. Graf EcoBloc Light Modular Water Storage System - Rainwater Collection and Stormwater Management. Available at: <http://www.rainharvest.com/graf-ecobloc-light-modular-water-storage-system.asp> [Accessed May 26, 2016].
- Rauch, W. et al., 2005. Integrated approaches in urban storm drainage: Where do we stand? *Environmental Management*, 35(4), pp.396–409.
- Razzaghmanesh, M., Beecham, S. & Kazemi, F., 2014. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 476-477, pp.288–297. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.014>.

- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y.C. & Liu, C., 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), pp.120–128.
- Roldin, M. et al., 2012. Modelling the impact of soakaway retrofits on combined sewage overflows in a 3km² urban catchment in Copenhagen, Denmark. *Journal of Hydrology*, 452-453, pp.64–75. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.027>.
- Rosenzweig, C., Gaffin, S. & Parshall, L., 2006. Green Roofs in the New York Metropolitan Region Research Report.
- Roy, A.H. et al., 2008. Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42(2), pp.344–359. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00267-008-9119-1>.
- Scholz, M. & Grabowiecki, P., 2007. Review of permeable pavement systems. *Building and Environment*, 42(11), pp.3830–3836.
- Science for Environmental Policy, 2012. *Soil Sealing*, Available at: [http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/sealing/Soil Sealing In-depth Report March version_final.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/sealing/Soil%20Sealing%20In-depth%20Report%20March%20version_final.pdf) [Accessed March 19, 2016].
- Semadeni-Davies, A. et al., 2008. The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 350(1-2), pp.100–113.
- Shafique, M. & Kim, R., 2015. Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 22(4), pp.351–363. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11270-007-9484-z>.
- Singh, P., Gupta, A. & Singh, M., 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), pp.111–121. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982314000271>.
- Stewart, R. & Hytiris, N., 2008. The role of Sustainable Urban Drainage Systems in reducing the flood risk associated with infrastructure. *11th International Conference on Urban Drainage*, pp.1–15.
- Stovin, V., Dunnett, N. & Hallam, A., 2007. Green roofs – getting sustainable drainage off the ground. *Novatech*, pp.11–18.

- Strickler, A., 2010. Water Cleansing Traffic Circle in Normal, Illinois. *inhabitat, Green Design, Innovation, Architecture, Green Building*. Available at: <http://inhabitat.com/water-cleansing-roundabout-in-normal-illinois/> [Accessed May 26, 2016].
- Sudsdrain, 2012a. Case Studies. *sudsdrain*. Available at: <http://www.sudsdrain.org/case-studies/>.
- Sudsdrain, 2012b. Geocellular storage systems. Available at: <http://www.sudsdrain.org/delivering-suds/index.html> [Accessed January 20, 2016].
- Taylor, A. & Wong, T., 2002. *Non-structural stormwater quality best management practices - A survey investigating their use and value*, Available at: <http://ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical200212.pdf>.
- The Watershed Company, 2016. Interpreting Your Green Building and Infrastructure Projects. Available at: <http://www.watershedco.com/blog/interpretation-for-green-building/> [Accessed April 12, 2016].
- Theodosiou, T.G., 2003. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, 35(9), pp.909–917.
- TYPAR, 2016. Porous Paving Grids. Available at: <http://www.boddingtonsonline.com/products/grass-ground-reinforcement/grass-reinforcement-protection/bodpave-85-porous-grass-pavers.php> [Accessed February 21, 2016].
- USGS, 2008. Shuttle Radar Topography Mission. Available at: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html> [Accessed March 28, 2016].
- USGS, 2015. The Water Cycle: Summary, from USGS Water-Science School. Available at: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html> [Accessed April 21, 2016].
- Viavattene, C. & Ellis, J.B., 2013. The management of urban surface water flood risks: SUDS performance in flood reduction from extreme events. *Water Science and Technology*, 67(1), pp.99–108.
- Voyde, E., Fassman, E. & Simcock, R., 2010. Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 394(3-4), pp.384–395.
- de Vries, S. et al., 2003. Natural environments - Healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and Planning A*, 35(10), pp.1717–1731.

- Wang, J. et al., 2008. Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 152(2), pp.387–393.
- Whitford, V., Ennos, A.R. & Handley, J.F., 2001. “City form and natural process” - Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 57(2), pp.91–103.
- Willems, P. et al., 2012. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. *Atmospheric Research*, 103, pp.106–118. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.003>.
- Willems, P., 2012. *Impacts of Climate Change on Rainfall Extremes and Urban Drainage Systems*, Available at: <https://books.google.com/books?id=vGCwYjhlSXkC&pgis=1> [Accessed January 16, 2016].
- Wilson, J. et al., 2003. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), pp.303–321. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00084-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1) [Accessed March 23, 2016].
- Wong, T.H.F. & Brown, R.R., 2009. The water sensitive city: Principles for practice. *Water Science and Technology*, 60(3), pp.673–682.
- Xiao, Q. et al., 2007. Hydrologic processes at the urban residential scale. *Hydrological Processes*, 21(16), pp.2174–2188.
- Yao, R., 2013. *Design and Management of Sustainable Built Environments*, Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-4781-7>.
- Yu, C., 2013. Sustainable Urban Drainable Systems for Management of Surface Water. In *Design and Management of Sustainable Built Environments*. London: Springer London, pp. 119–140. Available at: http://download.springer.com/static/pdf/923/chp:10.1007/978-1-4471-4781-7_7.pdf?originUrl=http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-4781-7_7&token2=exp=1455745569~acl=/static/pdf/923/chp%3A10.1007%2F978-1-4471 [Accessed February 17, 2016].
- Zevenbergen, C. et al., 2008. Challenges in urban flood management: travelling across spatial and temporal scales. *Journal of Flood Risk Management*, 1(2), pp.81–88. Available at: https://www.researchgate.net/publication/227500858_Challenges_in_urban_flood_management_travelling_across_spatial_and_temporal_scales_J_Flood_Risk_Manage

- [Accessed January 17, 2016].
- Zhang, S.F., Du, Z.Y. & Sun, X.B., 2010. Green Street: Landscape Design Approach to Street Stormwater Management. *Environment Materials and Environment Management Pts 1-3*, 113-116, pp.1601–1605.
- Zhou, Q., 2014. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6(4), pp.976–992. Available at: <http://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/976/htm>.
- Zhou, Q. et al., 2013. Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: an integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environmental management*, 51(3), pp.586–601. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3579472&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> [Accessed January 17, 2016].
- Γαλιούνα, Ε., 2011. Διερεύνηση εμπειρικών σχέσεων για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών στην Κύπρο. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012. Κατευθυντήριες γραμμές για τις βέλτιστες πρακτικές περιορισμού, μετριασμού ή αντιστάθμισης της σφράγισης του εδάφους, Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Available at: http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_el.pdf.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2000. Οδηγία 2000/60/ΕΚ για την καλή ποιότητα των υδάτων. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex:02000L0060-20141120> [Accessed April 21, 2016].
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2007. Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex:32007L0060> [Accessed April 21, 2016].
- Καϊλής, Κ., 2005. Αναφορά στην Αλυκή Ακρωτηρίου. Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών Κυπριακής Δημοκρατίας. Available at: <http://www.cyprus.gov.cy/moi/pio/pio.nsf/All/E841CFB8DCD11F88C225703E00382783?OpenDocument> [Accessed March 14, 2016].
- Κατσιφάρικης, Κ. et al., 2013. Οδηγός για την ολοκληρωμένη διαχείριση ομβρίων υδάτων στα πλαίσια του έργου “intergrated green cities,” Θεσσαλονίκη.
- ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε., 2015α. Αξιολόγηση/ταξινόμηση της ποιοτικής (οικολογικής και χημικής) κατάστασης των

- επιφανειακών υδάτων καθώς και της ποιοτικής (χημικής) και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, Available at: [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/all/7D60FEB84FCA5DF1C2257F01003626A7/\\$file/1_Taxinomisi_Idatinon_Somaton.pdf?openelement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/all/7D60FEB84FCA5DF1C2257F01003626A7/$file/1_Taxinomisi_Idatinon_Somaton.pdf?openelement) [Accessed March 15, 2016].
- ΛΔΚ Σύμβουλοι Τεχνικών και Αναπτυξιακών Έργων Α.Ε. & ECOS Μελετητική Α.Ε., 2015b. *Προκαταρκτικό Σχέδιο Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας*, Λεμεσός. Available at: [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/all/56EB6A9E19D6E1FBC2257F2B002DA93D/\\$file/Prokatartiko_Sxedio_Plimires.pdf?openelement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/all/56EB6A9E19D6E1FBC2257F2B002DA93D/$file/Prokatartiko_Sxedio_Plimires.pdf?openelement) [Accessed March 12, 2016].
- ΣΑΛΑ, 2009. Βιώσιμα συστήματα αποστράγγισης. Available at: http://www.sbla.com.cy/sites/default/files/apofasi_olomelias.pdf [Accessed May 5, 2016].
- ΣΑΛΑ, 2014. Σύνδεση με το σύστημα. Available at: <http://www.sbla.com.cy/System-Connection> [Accessed May 16, 2016].
- Σκούλος, Μ. et al., 2003. *Το νερό στη Μεσόγειο*, Αθήνα: ΜΙΟ-ΕCSDE & GWP-Med. Available at: http://www.medies.net/_uploaded_files/publications/water_greek_full.pdf [Accessed February 17, 2016].
- Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου, 2011. Στατιστική Υπηρεσία - Πληθυσμός και Κοινωνικές Συνθήκες - Απογραφή Πληθυσμού - Ανακοινώσεις - Νέα Ηλεκτρονική Έκδοση: Απογραφή Πληθυσμού, 20. 2015. Available at: <http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/All/9E7603BE2F8FEF7CC2257EE7002E4188?OpenDocument&sub=2&sel=1&e=&print> [Accessed March 5, 2016].
- Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, 2015. Για την Κύπρο. Available at: http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/profile_gr/profile_gr?OpenDocument [Accessed September 10, 2015].
- Τμήμα Μετεωρολογίας, 2015. Το κλίμα της Κύπρου. Available at: http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLcyclimate_gr/DMLcyclimate_gr?OpenDocument.
- Τουμαζής, Α., Καραβοκύρης, Γ. & Καϊμάκη, Σ., 2009. *Μελέτη διερεύνησης χρήσης ομβρίων υδάτων*,
- Υδροτεχνική, 2016. Πλαστικές δεξαμενές Νερού. Available at: <http://hydro-tech.gr/%cf%80%ce%bb%ce%b1%cf%83%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%b5%cf>

%82-

%ce%b4%ce%b5%ce%be%ce%b1%ce%bc%ce%b5%ce%bd%ce%b5%cf%82-
%ce%bd%ce%b5%cf%81%ce%bf%cf%85/ [Accessed May 4, 2016].