



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Μεταπτυχιακή εργασία:

***«Αποκεντρωμένη διαχείριση αστικού νερού:
συνδυασμένη χρήση πράσινων στεγών με
πρακτικές επαναχρησιμοποίησης βρόχινου
και γκρι νερού»***

Στρατηγέα Δομνίκη

Επιβλέπων: Μακρόπουλος Χρήστος

Επίκουρος καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2013

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας στηρίζεται, πέρα από την ατομική εργασία, στη βοήθεια και συνεργασία ορισμένων ατόμων, τα οποία δεν μπορούσα να μην ευχαριστήσω.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου, κ. Χρήστο Μακρόπουλο, ο οποίος, παρά το ιδιαίτερα απαιτητικό του πρόγραμμα, είχε τη διάθεση να αφιερώσει χρόνο, βοηθώντας με στα ζητήματα που προέκυπταν, καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Δρ. Ευάγγελο Ρόζο για το ενδιαφέρον και την καθοδήγηση του κατά το σχεδιασμό του μοντέλου της πράσινης στέγης.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Κωνσταντίνο Τάτση, ιδρυτή της ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΤΕΓΗ ΕΕ, και τον κ. Γρηγόρη Κοτοπούλη, τεχνικό σύμβουλο της εταιρείας egreen ,για τις πληροφορίες που μου έδωσαν και με βοήθησαν στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας μιας πράσινης στέγης.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω την κ. Μαρίνα Λαμπράκη – Πλάκα, διευθύντρια της εθνικής πινακοθήκης, για την παροχή δεδομένων του κτιρίου της εθνικής πινακοθήκης, τα οποία ήταν απαραίτητα για την εφαρμογή του μοντέλου.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη και την υπομονή τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
EXTENDED ABSTRACT.....	ix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1.3 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
2 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ	5
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	5
2.2 «ΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΗΠΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ» - LID.....	7
2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	7
2.2.2 ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ «ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΗΠΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ»	8
2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΗΣ «ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΗΠΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ»	8
2.2.3.1 Πρακτικές διατήρησης (Conservation designs).....	8
2.2.3.2 Πρακτικές διήθησης (Infiltration practices)	9
2.2.3.3 Πρακτικές αποθήκευσης απορροής (Runoff storage practices)	10
2.2.3.4 Πρακτικές μεταφοράς απορροής (Runoff conveyance practices)	10
2.2.3.5 Πρακτικές κράτησης ρύπων (filtration practices)	10
2.2.3.6 Τεχνικές διαμόρφωσης τοπίου (Low impact landscaping)	11
2.3 «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ» - WSUD	12
2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	12
2.3.2 ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ»	13
2.3.3 ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ».....	13
2.3.4 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΤΟΥ «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ»	14
2.3.4.1 Λεκάνες καθίζησης (Sediment basins)	14
2.3.4.2 «Σύστημα βιοκατακράτησης ομβρίων» (Bioretention swales)	15
2.3.4.3 «Λεκάνες βιοκατακράτησης» (Bioretention basins).....	16
2.3.4.4 Αμμόφιλτρα (Sand filters)	17
2.3.4.5 «Φυτοκαλυμμένα συστήματα μεταφοράς ομβρίων» (Swale and buffer systems)	18
2.3.4.6 Τεχνητοί υγρότοποι (Constructed wetlands)	19
2.3.4.7 Λίμνες (Ponds).....	20
2.3.4.8 Πρακτικές διήθησης (Infiltration measures)	21

2.3.4.9	Δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων (Rainwater tanks)	21
2.3.4.10	Τεχνολογία αποθήκευσης και ανάκτησης υδάτων από υπόγειο υδροφόρα (Aquifer storage and recovery - ASR)	22
2.3.4.11	Διαπερατά πεζοδρόμια (Porous pavements).....	23
2.3.4.12	Πράσινες στέγες και πράσινοι τοίχοι (Green roofs and walls)	23
2.4	«ΗΠΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ».....	25
2.4.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	25
2.4.2	ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ.....	25
2.4.3	ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΤΩΝ «ΗΠΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ»	26
2.5	ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	28
3	ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ.....	31
3.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	31
3.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	32
3.3	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ	35
3.3.1	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ Η ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ	35
3.3.2	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	37
3.3.3	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΜΟΝΩΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	38
3.3.4	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΙΖΩΝ	40
3.3.5	ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ Ή ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ.....	42
3.3.6	ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ	45
3.3.7	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΤΩΝ	46
3.3.8	ΒΛΑΣΤΗΣΗ.....	53
3.3.9	ΑΡΔΕΥΣΗ	60
3.4	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	61
3.5	ΤΥΠΟΙ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΣΤΕΓΩΝ	63
3.5.1	ΕΝΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	64
3.5.2	ΕΚΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ.....	65
3.5.3	ΗΜΙΕΝΤΑΤΙΚΟΣ Η ΗΜΙΕΚΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	66
3.5.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ.....	68
3.6	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	71
3.6.1	ΠΛΗΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	71
3.6.2	ΑΡΘΡΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	72
3.6.3	ΠΡΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΜΕΝΑ ΦΥΤΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ	72

3.7	ΟΦΕΛΗ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΣΤΕΓΩΝ.....	75
3.7.1	ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	75
3.7.2	ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	80
3.7.3	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ	80
3.7.3.1	Γενικά Στοιχεία	80
3.7.3.2	Ψύξη	81
3.7.3.3	Θερμική μόνωση.....	81
3.7.3.4	Παραδείγματα.....	82
3.7.4	ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	82
3.7.5	ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ.....	83
3.7.6	ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ.....	83
3.7.7	ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	84
3.7.8	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ.....	85
3.7.9	ΑΥΞΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗΣ.....	87
3.7.10	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΓΙΑ ΠΑΝΙΔΑ.....	87
3.7.11	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	88
3.8	ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	89
3.8.1	ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	89
3.8.2	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	90
3.9	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	92
3.9.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	92
3.9.2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	95
4	ΓΚΡΙ ΝΕΡΟ	103
4.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	103
4.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	104
4.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ.....	105
4.3.1	ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	105
4.3.2	ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	105
4.3.3	ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	105
4.4	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	109
4.5	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	111
4.6	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ.....	112
4.6.1	ΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ.....	112
4.6.2	ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ.....	113

4.6.3	ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	114
4.6.4	ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	116
4.6.5	ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	118
4.7	ΟΦΕΛΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	119
5	ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	121
5.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	121
5.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	122
5.2.1	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	122
5.2.2	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	123
5.3	ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	125
5.4	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	126
5.4.1	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	126
5.4.2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΕΡΓΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ.....	126
5.4.3	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	127
5.4.4	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	127
5.5	ΟΦΕΛΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	128
6	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ	129
6.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ	129
6.2	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	131
6.2.1	ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ (P)	131
6.2.2	ΕΞΑΤΜΟΔΙΑΠΝΟΗ (ET).....	131
6.2.2.1	Γενικά στοιχεία.....	131
6.2.2.2	Υπολογισμός Δυνητικής Εξατμοδιαπνοής.....	133
6.2.2.3	Υπολογισμός Πραγματικής Εξατμοδιαπνοής	135
6.2.3	ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (Ms)	136
6.2.4	ΠΑΧΟΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (D)	140
6.2.5	ΆΡΔΕΥΣΗ (Ir)	140
6.2.6	ΑΠΟΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ (R).....	141
6.2.7	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (S).....	141
6.2.8	ΖΗΤΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (FI)	141
6.2.9	ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ (Of).....	142
6.2.10	ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΝΕΡΟ (W).....	142
6.2.11	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟ (GW)	142

6.2.12	ΑΠΟΡΡΟΗ ΑΠΟ ΜΑΥΡΗ ΣΤΕΓΗ (R')	144
6.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΙΝΑΚΟΘΗΚΗΣ	145
6.3.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	145
6.3.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	148
6.3.2.1	Γραφήματα χρονοσειρών	148
6.3.2.2	Νομογραφήματα σχεδιασμού	162
6.3.2.3	Βελτιστοποίηση συστήματος	164
6.3.2.4	Διερεύνηση χαμηλής κατανάλωσης νερού στα καζανάκια	168
6.3.2.5	Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων	169
6.3.2.6	Υπολογισμός λανθάνουσας θερμότητας	174
6.3.3	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ (ΧΩΡΙΣ ΣΥΛΛΟΓΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΜΑΥΡΗ ΣΤΕΓΗ)	176
6.3.3.1	Γενικά στοιχεία	176
6.3.3.2	Αποτελέσματα - Γραφήματα	177
6.3.4	ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΜΑΥΡΗ ΣΤΕΓΗ (ΧΩΡΙΣ ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΤΕΓΗ)	189
6.3.4.1	Γενικά στοιχεία	189
6.3.4.2	Αποτελέσματα - Γραφήματα	190
6.3.5	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	194
6.3.5.1	Γραφήματα απορροής πριν και μετά την εφαρμογή του μοντέλου πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού	194
6.3.5.2	Γραφήματα συνολικής απορροής των τριών μοντέλων	198
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	207
7.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	207
7.1.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	207
7.1.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	213
7.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	217
8	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	219

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε μια νέα σχετικά τάση που επικρατεί στη διαχείριση υδατικών πόρων, η οποία αντιμετωπίζει το πρόβλημα στην πηγή του δημιουργώντας περιοχές ελέγχου της απορροής μικρής κλίμακας και όχι συστήματα μεταφοράς και επεξεργασίας αυτής σε μεγάλες εγκαταστάσεις στα κατάντη. Στα πλαίσια αυτής της τάσης έγινε θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας της πράσινης στέγης και παρουσίαση των τεχνολογιών του γκρι νερού και της συλλογής βρόχινου νερού με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση των παραγομένων ποσοτήτων ύδατος.

Παράλληλα, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο (μοντέλο πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού) για τη μαθηματική περιγραφή ενός συστήματος που αποτελείται από μια πράσινη στέγη, μια δεξαμενή αποθήκευσης και τις παραπάνω τεχνολογίες με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση των υδάτων (ελαχιστοποίηση της συνολικής απορροής και της ποσότητας του πρόσθετου νερού), το οποίο ακολούθως εφαρμόστηκε στο κτίριο της Εθνικής Πινακοθήκης. Εν συνεχεία, έγινε βελτιστοποίηση του συστήματος και ανάλυση ευαισθησίας για διάφορες παραμέτρους. Επιπλέον, υπολογίστηκε η λανθάνουσα θερμότητα και έγινε διερεύνηση της ποσοτικής διακύμανσης της απορροής και του προστιθέμενου νερού για διάφορες ροές σε καζανάκια. Τέλος, εξετάστηκαν δύο παρεμφερή με το παραπάνω μοντέλα, το πρώτο χωρίς την πράσινη στέγη και το δεύτερο χωρίς την τεχνολογία της συλλογής του βρόχινου νερού.

Τα αποτελέσματα για το μοντέλο πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού έδειξαν ότι η συνολική απορροή μειώνεται αισθητά σε συνήθεις περιπτώσεις βροχοπτώσεων, ενώ η αναγκαία προστιθέμενη ποσότητα νερού είναι αυξημένη από τα μέσα Μαΐου έως τα τέλη Σεπτεμβρίου. Παράλληλα, η μείωση της συνολικής απορροής επιτυγχάνεται με την αύξηση του ποσοστού της πράσινης στέγης ή την αύξηση των διαστάσεων της δεξαμενής αποθήκευσης νερού. Αντιστοίχως, η μείωση της αναγκαίας προστιθέμενης ποσότητας πραγματοποιείται είτε με μείωση του ποσοστού της πράσινης στέγης είτε με αύξηση του όγκου της δεξαμενής. Από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν, ο φυτικός συντελεστής και το πάχος του εδαφικού

υποστρώματος έχουν άμεση επιρροή στην αναγκαία προστιθέμενη ποσότητα νερού. Επιπλέον, η λανθάνουσα θερμότητα είναι μεγαλύτερη τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Τέλος, από τη συγκριτική μελέτη των τριών μοντέλων καθίσταται προτιμότερη λύση για την εξοικονόμηση του πόσιμου νερού και δυσμενέστερη για τη συνολική απορροή το μοντέλο συλλογής βρόχινου νερού.

EXTENDED ABSTRACT

Aim

In the framework of this master thesis, a model was introduced in order to describe the water cycle of a system which consists of a green roof, a water storage tank and the technologies of rainwater harvesting and grey water re-use. The goal was to minimize the total runoff and the use of potable water for other household activities, like irrigation or flushing. Its aim is the optimization of water management (minimization of the total runoff and the amount of additional water).

Structure

- Overview of Low Impact Development (LID), Water Sensitive Urban Design (WSUD) and Sustainable drainage systems (SuDS)
- Comprehension and analysis of green roof, rainwater harvesting and grey water technologies
- Illustration of green roof – water storage tank model
- Mathematical description of the above system
- Determination of parameters
- Design the abovementioned model
- Implementation of the model on the National Gallery roof
- Analysis of the results
- Sensitivity analysis for various parameters
- Optimization of water management
- Estimation of total runoff and additional water needs for various toilet flushes
- Design two similar to the main models
- Comparison of the total runoff and additional water requirements among the three models

Overview

In the present thesis, a relatively recent approach in stormwater management was analyzed. This concept is based on controlling stormwater at the source by the use of

micro-scale controls, rather than conveying and managing runoff in large facilities located at the base of drainage areas. It aims to mimic a site's predevelopment hydrology by using design techniques that infiltrate, filter, store, evaporate, and detain runoff close to its source. This approach is well known as Low Impact Development (LID), Water Sensitive Urban Design (WSUD) and Sustainable drainage systems (SuDS). There are many practices that have been used to achieve their goal such as bioretention basins and swales, buffer or swale systems, sand filters, ponds, porous pavements, rainwater tanks, sediment basins, infiltration measures, aquifer storage and recovery, green walls and green roofs.

A theoretical analysis of the operation of green roof was performed. This technology usually consists of a waterproofing membrane, an insulation layer, a root barrier, a protection fabric, a drainage layer, a filter layer, a growing media and vegetation. The most common classification based on their type is extensive, intensive and semi – intensive green roof. Moreover, depending on the current type, green roofs are built with variable thicknesses and different vegetation. It should be noted that the benefits of green roofs are numerous, such as improving the air quality, providing thermal performance and roof insulation, reducing the urban heat island effect and the noise disturbance, increasing biodiversity and ameliorating stormwater.

As far as the grey water is concerned, it can be collected from showers, baths, washbasins, washing machines and kitchen sinks. Obviously, it is a reflection of the household activities, the habits of the people they live in and the products they use. In general, greywater from bathtubs, showers and washbasins is the least polluted. Taking this into account, the treatment method that should be used is highly dependent from the greywater source. The treatment technologies that are being used for this purpose are physical, chemical, biological or extensive. The re-used water should meet or exceed the minimum standards which vary from one country to another.

Rainwater harvesting is a term that describes the collection, conveyance and storage of the rainwater for later use. The factors that are taken into account in calculating the quantity of rainwater are the time distribution of the rain, the collection area and collection losses and those that affect the quality of rainwater are the air quality,

the collection area (land – based or roof – based) and the rainwater tank. It should be mentioned that roof surfaces provides a clean source of water which needs little treatment for reuse.

Model

A model (green roof – rainwater harvesting) was introduced for the mathematical description of a system which consists of a green roof, a storage tank and the technologies of rainwater harvesting and greywater reuse. A mass balance approach can be used for the design of the abovementioned system (Figure 1).

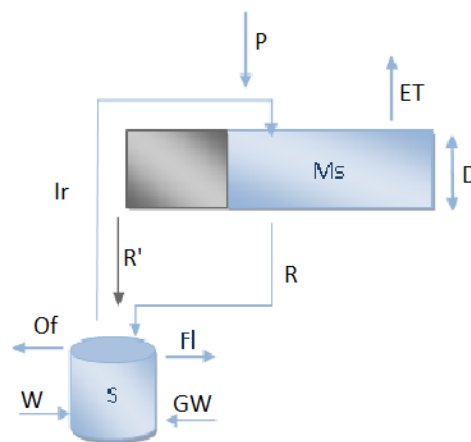


Figure 1: Green roof – rainwater harvesting model

The components of figure 1 are the following:

P: Precipitation

ET: Evapotraspiration

Ms: Growing media storage – soil moisture

D: Depth of growing media

Ir: Irrigation

R: Runoff from green roof

S: Water tank storage

Fl: Flushing

Of: Overflow

W: Additional water

GW: Grey water

R': Runoff from rainwater harvesting

Two equations were constructed for the mathematical description of the system, one for the green roof (1) and the other for water storage tank (2).

Mass balance equation for green roof

$$P + Ir - ET - R = Ms \quad (1)$$

Mass balance equation for water storage tank

$$R + GW + W - Fl - Of - Ir + R' = S \quad (2)$$

The model operated on a daily time step. The FAO Penman – Monteith (3) was selected to determine the reference crop evapotranspiration (PET). When solar radiation data, relative humidity data and/or wind speed data were missing, the reference crop evapotranspiration was estimated using the Hargreaves PET equation (4). Crop water use was computed using the reference crop evapotranspiration and a crop coefficient (5):

$$PET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \times \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma'} \times F(u) \times D \quad (3)$$

$$PET = 0,0023 \times (T_{mean} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} \times S_o \quad (4)$$

$$ET = Kc \times PET \quad (5)$$

Furthermore, the soil moisture was calculated with a modified Thornthwaite model.

Table 1

$P_t + Ir_t > ET_t$	$P_t + Ir_t < ET_t$
$Ms_{t+\Delta t} = Ms'_t + Ir_t + P_t - ET_t$ $Ms'_t = \min(Ms_t, Ms_{max})$ $R_t = Ms_t - Ms'_t$	$Ms_{t+\Delta t} = Ms_t \times e^{\frac{I_t + P_t - ET_t}{Ms_{max}}}$ $Ms'_t = \min(Ms_t, Ms_{max})$ $R_t = Ms_t - Ms'_t$

Case study

This model was applied to the building of the National Gallery. The roof area was 1963 m² and on the 60% of it an extensive green roof was established. Turf grass and sedums were selected for vegetation. The depth of growing media was 0.06 m and the minimum and the maximum media storage were 21 m³ and 46 m³ respectively. The hydrological variables were collected from the meteorological station located in Zografou and Hellinikon. In the remaining 40%, a rainwater harvesting technology was established. The coefficient of effectiveness was considered 0.9. The capacity of the water storage tank was 200 m³. The greywater was collected from the washbasins after appropriate treatment. Two different irrigation rates occurred whenever the ratio of the soil moisture Ms_t to the Ms_{min} reached specific values. The regular and the high irrigation added to the system were 5 mm and 8 mm respectively. Finally, the daily visitors were estimated 1095.

The model was run for 7 years (2005 - 2012). Subsequently, the model was optimized and a sensitivity analysis of various parameters was conducted. Moreover, the latent heat and the quantitative variation of total runoff and additional water for various toilet flush volumes were estimated. Finally, two similar to the above models were tested, the first without the green roof and the second without the rainwater harvesting.

The results for the model green roof - rainwater harvesting showed that the total runoff has been decreased significantly in casual rainfall (Figure 3), while the necessary amount of additional water has been increased from mid-May to late September (Figure 3).

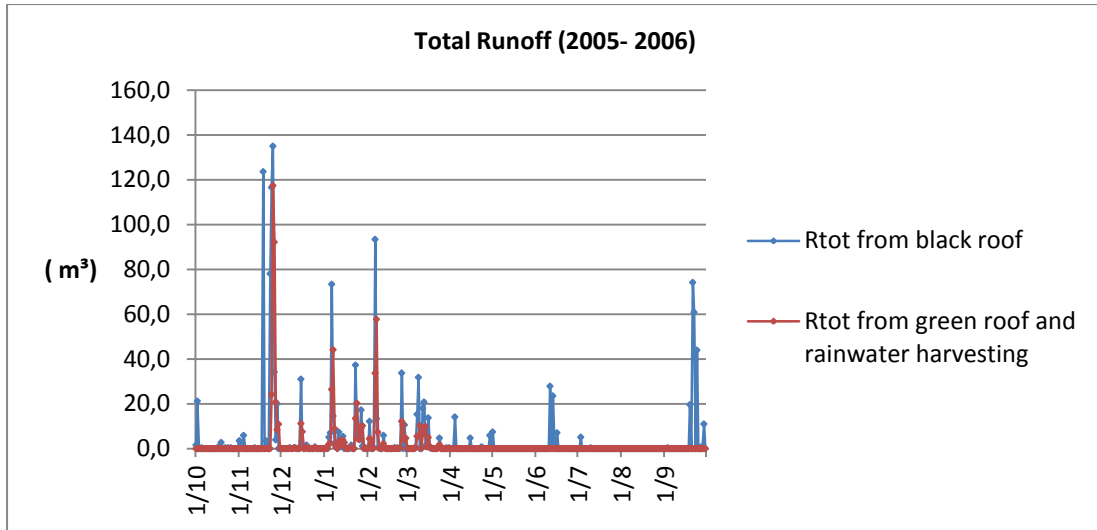


Figure 2: Comparison between the total runoff volumes from the green roof – rainwater harvesting model and the black roof

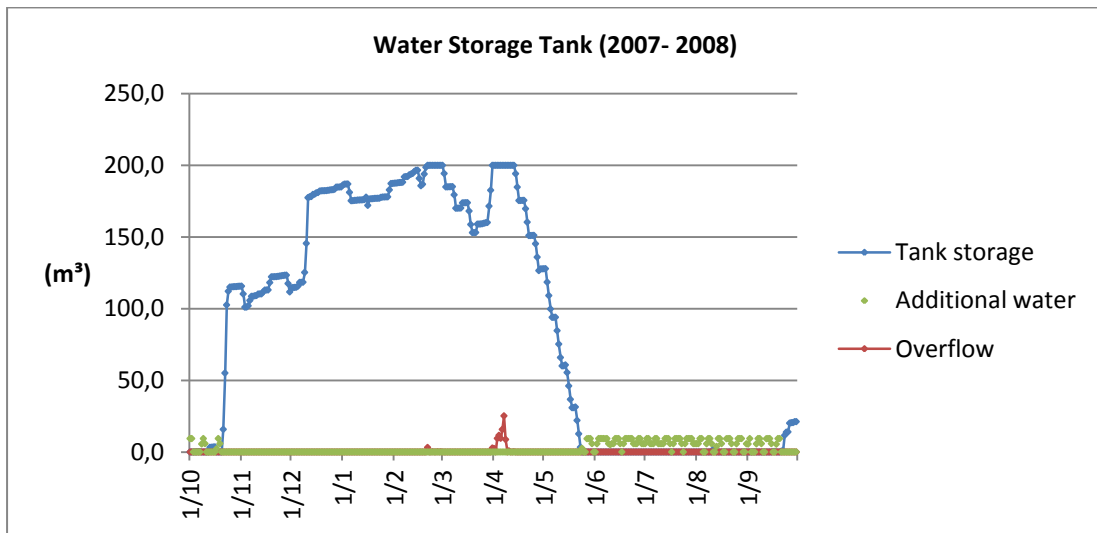


Figure 3: Daily distribution of the water tank storage, the overflow and the additional water

Furthermore, the reduction of the total runoff is achieved by increasing the percentage of green roof or increasing the dimensions of the water storage tank (Figure 4a). Accordingly, the necessary additional water need is reduced either by lowering the percentage of green roof or by augmenting the volume of the reservoir (Figure 4b).

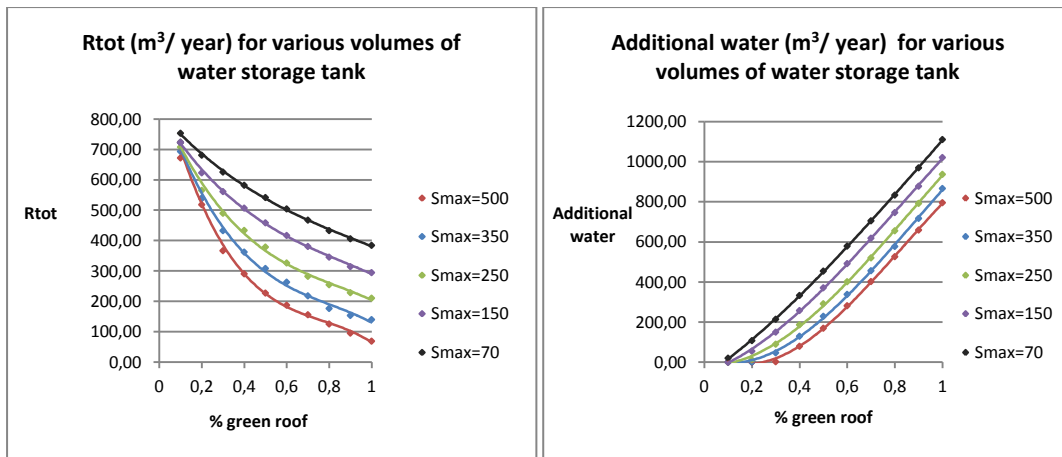


Figure 4: Relationship between the percentage of green roof and (a) total runoff (b) additional water for various volumes of water storage tank

The sensitivity analysis of the parameters examined has revealed that the crop coefficient has a direct influence on water requirements (Figure 5).

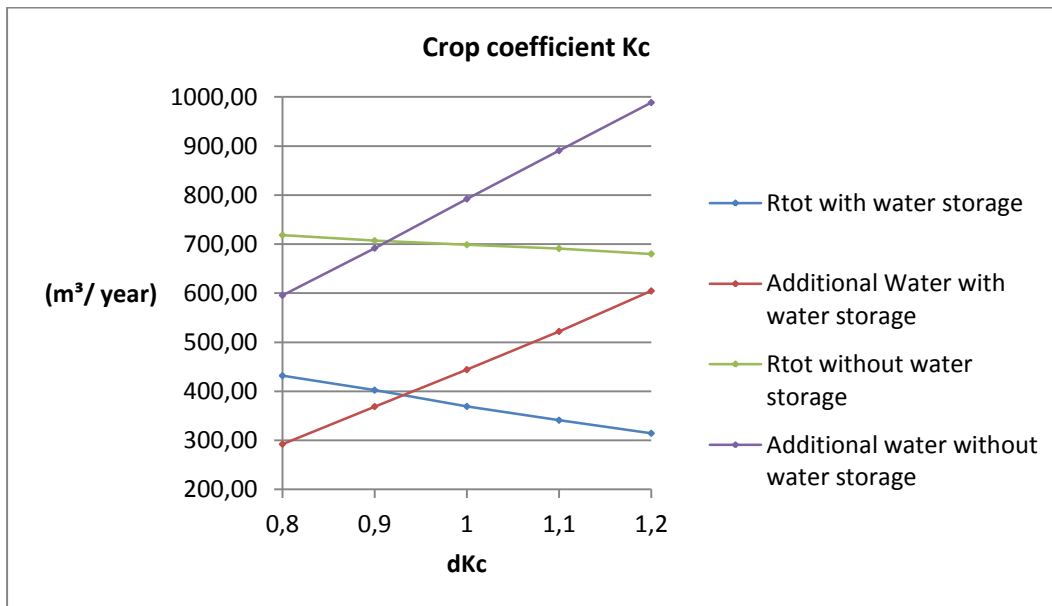


Figure 5: Sensitivity analysis for the crop coefficient Kc

The analyses performed in this thesis have showed that the latent heat is greater during the months of June and July. Finally, a comparative study of three models showed that the most preferable solution for conserving potable water, despite the fact that it has the higher total runoff (Figure 6), is the rainwater harvesting model.

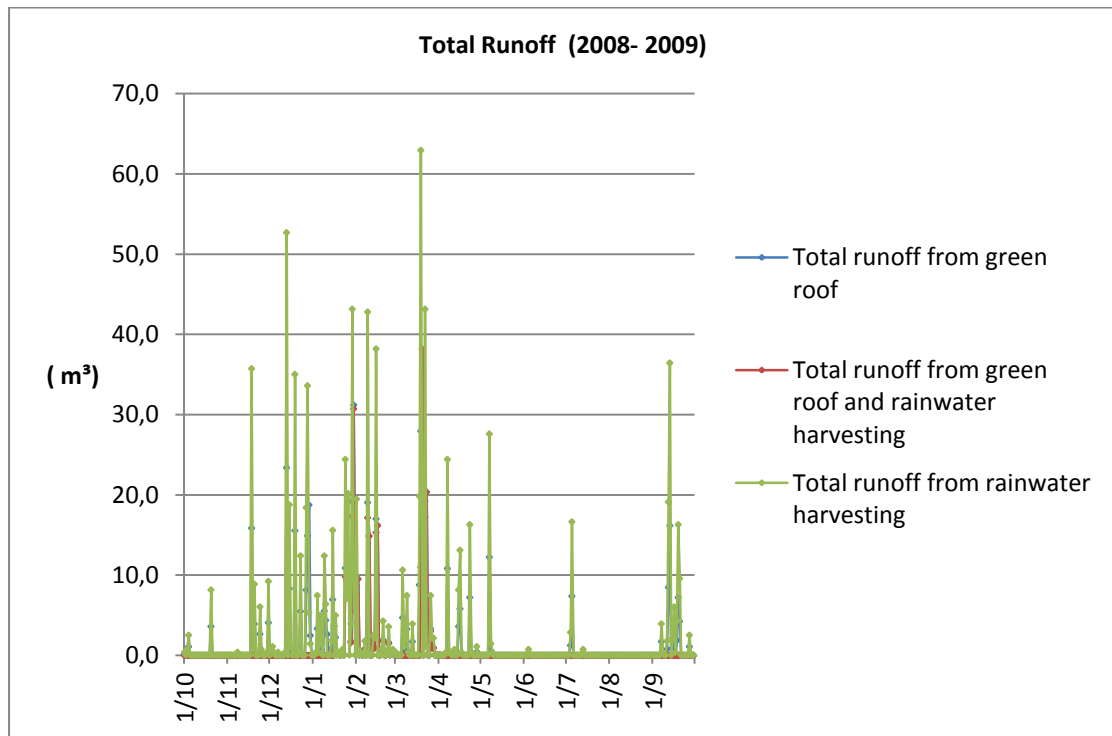


Figure 6: Comparison of the total runoff volumes from the three models

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ποσοστό του αστικού πληθυσμού σε παγκόσμιο επίπεδο ολοένα και αυξάνεται, ενώ παράλληλα οι αστικές περιοχές επεκτείνονται συνεχώς ως προς το χώρο και την πυκνότητα. Αποτέλεσμα αυτής της τάσης είναι η αύξηση των αδιαπέρατων επιφανειών που επιφέρει προβλήματα, όπως η μείωση της διήθησης, η αύξηση των πλημμυρών και της θερμοκρασίας και η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα. Παράλληλα, οι παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης των ομβρίων, που βασίζονται στη μεταφορά του βρόχινου νερού στα κατάντη υδατορεύματα, είναι δύσκολο να ανταπεξέλθουν στις έντονες καταιγίδες, και τα αντιπλημμυρικά έργα που πρέπει να κατασκευαστούν είναι πολυδάπανη λύση.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί νέες προσεγγίσεις στη διαχείριση των υδάτων, οι οποίες έχουν ως στόχο την αντιμετώπιση του προβλήματος κοντά στην πηγή και παρέχουν περιβαλλοντικά, οικονομικά, κοινωνικά και πολιτισμικά οφέλη. Στην Αμερική, για τις παραπάνω προσεγγίσεις, επικράτησε ο όρος της «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων», στην Αυστραλία ο «υδροκεντρικός αστικός σχεδιασμός» και στην Αγγλία τα «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων». Ειδικότερα, οι πρακτικές που εφαρμόζονται βάσει αυτών έχουν ως στόχο την συλλογή και κράτηση της απορροής μέσω ειδικών τεχνολογιών, όπως είναι οι λεκάνες καθίζησης και διήθησης, τα αμμόφιλτρα και οι τάφροι μεταφοράς και διήθησης, οι οποίες δεν είναι εφικτό να κατασκευαστούν στο πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον. Σε αυτό το πλαίσιο, οι πράσινες στέγες αποτελούν μια από τις πλέον σημαντικές τεχνολογίες, καθώς προσφέρουν ένα τρόπο μετατροπής των παραδοσιακών, μη χρησιμοποιούμενων αδιαπέρατων στεγών σε πιο διαπερατές. Επισημαίνεται ότι λόγω της κράτησης, της συγκράτησης και της σταδιακής απελευθέρωσης της απορροής χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για την αντιμετώπιση των ομβρίων στην πηγή.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός μοντέλου, το οποίο περιγράφει τον κύκλο του νερού που προκύπτει με τη χρήση ενός συστήματος πράσινης στέγης και δεξαμενής αποθήκευσης νερού και έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της συνολικής απορροής και της χρήσης του πόσιμου νερού για διάφορες οικιακές λειτουργίες.

1.3 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι επιμέρους στόχοι παρατίθενται παρακάτω:

- Θεωρητική κατάρτιση των πρακτικών βέλτιστης διαχείρισης των υδάτων
- Κατανόηση και καταγραφή της λειτουργίας των τεχνολογιών πράσινης στέγης και συλλογής βρόχινου και γκρι νερού
- Σχηματική απεικόνιση του συστήματος πράσινης στέγης - δεξαμενής αποθήκευσης νερού
- Μαθηματική περιγραφή του παραπάνω συστήματος μέσω κατάστρωσης εξισώσεων
- Καθορισμός των παραμέτρων
- Δημιουργία ενός εύχρηστου μοντέλου σε excel
- Εφαρμογή του μοντέλου στη στέγη της εθνικής πινακοθήκης
- Βελτιστοποίηση του συστήματος πράσινης στέγης - δεξαμενής αποθήκευσης νερού για διάφορα σενάρια

1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει, εκτός από το παρόν κεφάλαιο που αποτελεί την εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας, άλλα έξι εκ των οποίων:

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι πρακτικές βέλτιστης διαχείρισης των υδάτων. Αρχικά, γίνεται μια ιστορική αναδρομή στους τρόπους διαχείρισης αυτών μέχρι σήμερα. Εν συνεχεία, αναλύονται οι πρακτικές που έχουν ως στόχο την αντιμετώπιση της διαχείρισης των ομβρίων με πυρήνα την αποκατάσταση του υδρολογικού καθεστώτος και είναι γνωστές στην Αμερική ως «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων», στην Αυστραλία ως «υδροκεντρικός αστικός σχεδιασμός» και στην Αγγλία ως «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων». Ειδικότερα, αναφέρονται οι αρχές, οι στόχοι και οι τεχνολογίες αυτών. Τέλος, παρουσιάζονται τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναλυτική παρουσίαση της τεχνολογίας της πράσινης στέγης. Αρχικά, συνοψίζεται η εξέλιξη της, από του Κρεμαστούς Κήπους έως τη σημερινή μορφή της. Εν συνεχεία, αναλύονται τα στρώματα που αποτελείται και η λειτουργία τους, οι τύποι και τα συστήματα σχεδιασμού καθώς και τα οφέλη της. Έπειτα, παρατίθεται η ισχύουσα νομοθεσία για τις πράσινες στέγες στην Ελλάδα και τέλος αναφέρεται μια οικονομική προσέγγιση αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η έννοια του γκρι νερού. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του και στο διαχωρισμό του ανάλογα με την πηγή προέλευσης. Επιπλέον, αναλύονται οι τεχνολογίες επεξεργασίας του γκρι νερού και αναφέρονται τα συστήματα σχεδιασμού τους. Τέλος, επισυνάπτονται τα οφέλη που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση αυτού.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται η τεχνολογία συλλογής βρόχινου νερού (rainwater harvesting). Αρχικά, αναφέρονται τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του βρόχινου νερού και ο διαχωρισμός των πρακτικών συλλογής του. Έπειτα, αναλύονται οι τεχνολογίες επεξεργασίας αυτού και ολοκληρώνοντας παρατίθενται τα οφέλη από τη συλλογή, επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση του.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το μοντέλο πράσινης στέγης με επαναχρησιμοποίηση βρόχινου και γκρι νερού και οι εξισώσεις υδρολογικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του. Ακολούθως, αναλύονται οι διάφορες συνιστώσες του ισοζυγίου αυτού. Έπειτα, γίνεται παρουσίαση των δεδομένων για την εφαρμογή του μοντέλου στην στέγη της εθνικής πινακοθήκης και εν συνεχεία παράθεση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Τέλος, επισυνάπτονται τα αποτελέσματα από δύο τροποποιημένα, συγκριτικά με το αρχικό, μοντέλα, ένα όμοιο με το αρχικό, χωρίς όμως τη χρήση της τεχνολογίας του βρόχινου νερού κι ένα άλλο που περιλαμβάνει μόνο τη συλλογή βρόχινου νερού.

Στο κεφάλαιο 7 παρατίθενται γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν ύστερα από την παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά και ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης των ομβρίων βασίζονται κυρίως στη μεταφορά της απορροής από τις αστικές αδιαπέρατες επιφάνειες στα κοντινά υδάτινα σώματα. Στο πλαίσιο αυτό κατασκευάζονται ειδικά έργα, που έχουν ως σκοπό τη μείωση της επίδρασης των αυξημένων αιχμών, ταχυτήτων και όγκων της απορροής. Αποτέλεσμα των παραδοσιακών αυτών τεχνολογιών είναι η υποβάθμιση των αστικών υδατορευμάτων, γνωστή και ως «urban stream syndrome», η οποία περιγράφεται από ένα σταθερό μοτίβο υδρολογικών, φυσικών και βιολογικών συνθηκών που εμφανίζεται στα κατάντη υδατορεύματα αστικών περιοχών. Συγκρινόμενα με τα ποτάμια που βρίσκονται κατάντη φυσικών λεκανών απορροής, τα αστικά υδατορεύματα τείνουν να έχουν πιο διαβρωτικές και μεγαλύτερης έντασης ροές, μια αύξηση στην ανιούσα και κατιούσα κλίση του πλημμυρικού υδρογραφήματος και μεγαλύτερες ποσότητες ανόργανων φωσφορικών και νιτρικών θρεπτικών στοιχείων, αλλά και άλλων τεχνητών οργανικών χημικών στοιχείων, όπως είναι τα φαρμακευτικά προϊόντα (Martinet, 2008).

Μετά το 1990, όπου οι πρακτικές της βιώσιμης ανάπτυξης είχαν αρχίσει και εφαρμόζονταν όλο και περισσότερο, αναπτύχθηκε μια διαφορετική αντιμετώπιση της διαχείρισης των ομβρίων, η οποία θέτει ως στόχο την αποκατάσταση του υδρολογικού καθεστώτος (Sansalone et al., 2008). Πολλές πρακτικές βέλτιστης διαχείρισης άρχισαν να εξετάζονται και στη συνέχεια να εφαρμόζονται με κύριο σκοπό τη μείωση των επιπτώσεων που είχε επιφέρει η αστική ανάπτυξη. Δόθηκε έμφαση στην αποθήκευση των ομβρίων υδάτων μέσα στη λεκάνη απορροής, αλλά και στην αντικατάσταση των αδιαπέρατων επιφανειών με πιο διαπερατές (Carter & Jackson, 2007). Αυτή η παγκόσμια τάση παρατηρήθηκε σε πολλές χώρες με παρόμοιες τεχνολογίες και οδηγίες εφαρμογής. Έτσι, στην Αμερική επικράτησε ο όρος της «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων», στην Αυστραλία ο

«υδροκεντρικός αστικός σχεδιασμός» και στην Αγγλία τα «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων».

2.2 «ΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΗΠΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ» - LID

2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων», γνωστή ως low impact development (LID) αποτελεί μια σχετικά νέα έννοια στον τομέα της διαχείρισης των ομβρίων. Στόχος της είναι η διατήρηση ή η αναπαραγωγή του προ-αστικοποίησης υδρολογικού καθεστώτος, με τη χρήση τεχνικών σχεδιασμού, για τη δημιουργία ενός λειτουργικά ισοδύναμου καθεστώτος. Οι υδρολογικές μεταβλητές της αποθήκευσης, της διήθησης και της ανατροφοδότησης του υπόγειου υδροφορέα, καθώς και του όγκου και της συχνότητας της επιφανειακής απορροής, διατηρούνται μέσω της χρήσης μικρής κλίμακας, ολοκληρωμένων και διανεμημένων περιοχών κράτησης και συγκράτησης νερού, μέσω της μείωσης των αδιαπέρατων επιφανειών και διαμέσου της επιμήκυνσης των διαδρομών ροής και του χρόνου απορροής (Coffman, 2000). Άλλοι τρόποι επίτευξης μιας «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων» είναι η διατήρηση και η προστασία περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών, όπως είναι οι υγράτοποι, οι απότομες πλαγιές, οι δασικές εκτάσεις, οι πλημμυρικές περιοχές, τα εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα και οι παραποτάμιες λωρίδες εδάφους. Τεχνικές αυτής της ανάπτυξης πρωτοεμφανίστηκαν στη Μέριλαντ, στις αρχές της δεκαετίας του 1990.

Οι αρχές της «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων» βασίζονται στην αντιμετώπιση του προβλήματος στην πηγή του. Έτσι, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές διαχείρισης των ομβρίων, που έχουν ως στόχο την απομάκρυνση και τη διαχείριση της απορροής, σε μεγάλες εγκαταστάσεις, στο τέλος των λεκανών απορροής, η «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων» δημιουργεί περιοχές ελέγχου μικρής κλίμακας κοντά στην πηγή. Σημειώνεται ότι οι παραδοσιακές λύσεις για την αντιμετώπιση της επιφανειακής απορροής, αν και απομακρύνουν επιτυχώς τους ρύπους, επηρεάζουν αρνητικά την υδρολογία της περιοχής. Το γεγονός αυτό δύναται να συντελέσει στην αλλοίωση των οικοσυστημάτων (Coffman, 2000).

Οι πρακτικές της «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων» είναι χρήσιμες όσον αφορά στην εφαρμογή τους σε έναν ήδη υπάρχον έντονα αστικοποιημένο χώρο. Κι

αυτό γιατί οι περισσότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται, όπως είναι οι «πράσινοι κήποι» και τα ειδικά κουτιά με φυτεμένα δέντρα καταλαμβάνουν μικρή έκταση. Επίσης, πολλές από τις πρακτικές είναι εύκολο να ενσωματωθούν στην υπάρχουσα υποδομή, όπως είναι οι δρόμοι, οι χώροι στάθμευσης και τα κτίρια.

2.2.2 ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ «ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΗΠΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ»

Οι πρακτικές της «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων» στηρίζονται σε ένα βασικό σύνολο αρχών βάσει του οποίου η διαχείριση των ομβρίων δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απόρριψη αυτών στα κατάντη. Αντιθέτως, είναι αναγκαία η αντιμετώπιση μέσω του ελέγχου των ομβρίων κοντά στη πηγή. Ακολουθώντας αυτή τη λογική δίνεται η ευκαιρία ανάπτυξης τεχνικών χωρίς αυξημένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι αρχές που διέπουν αυτή την προσέγγιση καταγράφονται επιγραμματικά παρακάτω:

- Ένταξη των πρακτικών διαχείρισης ομβρίων στο σχεδιασμό του χώρου
- Χρήση φυσικών υδρολογικών λειτουργιών
- Εστίαση στην πρόληψη και όχι στο μετριασμό των επιπτώσεων
- Αντιμετώπιση του φαινομένου όσο πιο κοντά στην πηγή του
- Πρακτικές μικρής κλίμακας
- Δημιουργία τοπίου με πολλαπλές λειτουργίες (<http://www.nrdc.org>).

2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΗΣ «ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΗΠΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ»

2.2.3.1 Πρακτικές διατήρησης (*Conservation designs*)

Οι πρακτικές διατήρησης χρησιμοποιούνται με σκοπό την ελαχιστοποίηση της απορροής μέσω της διατήρησης ανοιχτών χώρων. Οι χώροι αυτοί μειώνουν το ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών, το οποίο είναι υπεύθυνο για την αυξημένη επιφανειακή απορροή. Παράλληλα, σε αυτούς τους χώρους δύναται να ελεγχθεί και να μειωθεί ο όγκος των ομβρίων μέσω των διεργασιών της διήθησης και της

εξατμοδιαπνοής. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ανάπτυξης μιας περιοχής, μπορεί να προγραμματιστεί η διασφάλιση χώρων που συντελούν στις παραπάνω διεργασίες, όπως είναι οι υγρότοποι, οι παρόχθιες περιοχές και οι δασικές εκτάσεις. Επιπλέον, τα σχέδια ανάπτυξης που περιλαμβάνουν τη μικρότερη δυνατή διατάραξη μιας περιοχής, ελαχιστοποιούν την αφαίρεση και τη συμπίεση του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Συνεπώς, είναι αξιοσημείωτο ότι με πιο απλοϊκές μη κατασκευαστικές λύσεις μειώνεται η απορροή, ενώ παράλληλα αποφεύγονται και τα αντίστοιχα δαπανηρά κατασκευαστικά αντιπλημμυρικά έργα, τα οποία θα ήταν απαραίτητα στην περίπτωση μη εφαρμογής των πρακτικών διατήρησης. Τέλος, η μείωση της απορροής επιτυγχάνεται με το σχεδιασμό δρόμων και πεζοδρομίων μικρότερου πλάτους και με τον περιορισμό των χώρων στάθμευσης (EPA, 2007).

2.2.3.2 Πρακτικές διήθησης (*Infiltration practices*)

Οι πρακτικές διήθησης είναι κατασκευαστικές δομές ή χαρακτηριστικά τοπίου, που σχεδιάζονται με σκοπό τη δέσμευση και διήθηση της επιφανειακής απορροής. Παραδείγματα αυτών αποτελούν τα διαπερατά πεζοδρόμια (porous pavements), οι «πράσινοι κήποι» (rain gardens), οι λεκάνες διήθησης (infiltration basins) και τα φυτοκαλυμμένα συστήματα επεξεργασίας (vegetated treatment systems). Χρησιμοποιούνται τόσο για την ελάττωση του όγκου της απορροής, όσο και για τη μείωση των διαστάσεων της υποδομής που χρειάζεται για τη μεταφορά, την επεξεργασία και τον έλεγχο αυτού. Τονίζεται ότι οι πρακτικές διήθησης συχνά αποτελούν τρόπο ανατροφοδότησης του υπόγειου υδροφορέα. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές όπου η διατήρηση των προμηθειών του πόσιμου νερού και της βασικής ροής είναι απαραίτητες, λόγω των περιορισμένων κατακρημνίσεων ή της υψηλής αναλογίας των τιμών αποφόρτισης – αναφόρτισης. Τέλος, μέσω των πρακτικών διήθησης, διατηρείται η θερμοκρασία των αστικών υδατορευμάτων, καθώς το νερό που κινείται υπόγεια έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες από τη χερσαία ροή αυτού (EPA, 2007).

2.2.3.3 Πρακτικές αποθήκευσης απορροής (Runoff storage practices)

Η επιφανειακή απορροή από αδιαπέρατες επιφάνειες δύναται να συλλέγεται και να αποθηκεύεται για επαναχρησιμοποίηση ή σταδιακή διήθηση και εξάτμιση ή για άρδευση των φυτών. Οι κατασκευαστές μπορεί να εκμεταλλευτούν τον κενό χώρο που δημιουργείται κάτω από πλακόστρωτες περιοχές, όπως είναι οι χώροι στάθμευσης και τα πεζοδρόμια. Χαρακτηριστικές πρακτικές αποθήκευσης απορροής αποτελούν τα βαρέλια, οι δεξαμενές βρόχινου νερού και οι πράσινες στέγες (EPA, 2007).

2.2.3.4 Πρακτικές μεταφοράς απορροής (Runoff conveyance practices)

Στις περιπτώσεις ακραίων γεγονότων καταιγίδας, όπου οι πρακτικές διείσδυσης και αποθήκευσης δεν επαρκούν για τον έλεγχο της απορροής, χρησιμοποιούνται οι πρακτικές μεταφοράς αυτής. Τότε, η περίσσεια της απορροής οδηγείται εκτός της υπό μελέτη περιοχής. Ένας άλλος λόγος επιλογής αυτών των πρακτικών είναι για τη μείωση της ταχύτητας ροής, για την επιμήκυνση του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης και για την καθυστέρηση των πλημμυρικών αιχμών. Συνήθως, οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από μια τραχιά επιφάνεια, η οποία βοηθάει στην επίτευξη βραδύτερου ρυθμού απορροής, στην αύξηση της εξάτμισης και στην καθίζηση των στερεών. Άλλα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι διαπερατές και αποτελούνται από τμήματα βλάστησης, γνωρίσματα που προάγουν τις διεργασίες της διείσδυσης, της διήθησης και της βιολογικής απορρόφησης των ρύπων. Παραδείγματα των πρακτικών μεταφοράς απορροής είναι τα φράγματα ελέγχου, οι λωρίδες πράσινου, τα επενδυμένα με γρασίδι κανάλια, οι λωρίδες διαδρομών ροής πάνω σε διαμορφωμένους χώρους και οι μικροί οχετοί (EPA, 2007).

2.2.3.5 Πρακτικές κράτησης ρύπων (filtration practices)

Οι πρακτικές κράτησης ρύπων επεξεργάζονται την απορροή, σε ένα εδαφικό μέσο κατάλληλα σχεδιασμένο για να κατακρατά τους ρύπους που περιέχονται σε αυτή. Τα οφέλη τους είναι παρόμοια με αυτά των πρακτικών διήθησης, όπως η μείωση

του όγκου απορροής και η ανατροφοδότηση του υπόγειου υδροφορέα, ενώ παράλληλα έχουν και το πρόσθετο πλεονέκτημα της απομάκρυνσης του αυξημένου ρυπογόνου στοιχείου. Σημειώνεται ότι οι ρύποι κατακάθονται στον άνω εδαφικό ορίζοντα και δύναται να απομακρυνθούν με την αντικατάσταση του επιφανειακού εδάφους. Παραδείγματα των πρακτικών κράτησης ρύπων αποτελούν οι «πράσινοι κήποι» και οι λωρίδες βλάστησης με ή χωρίς φίλτρο (EPA, 2007).

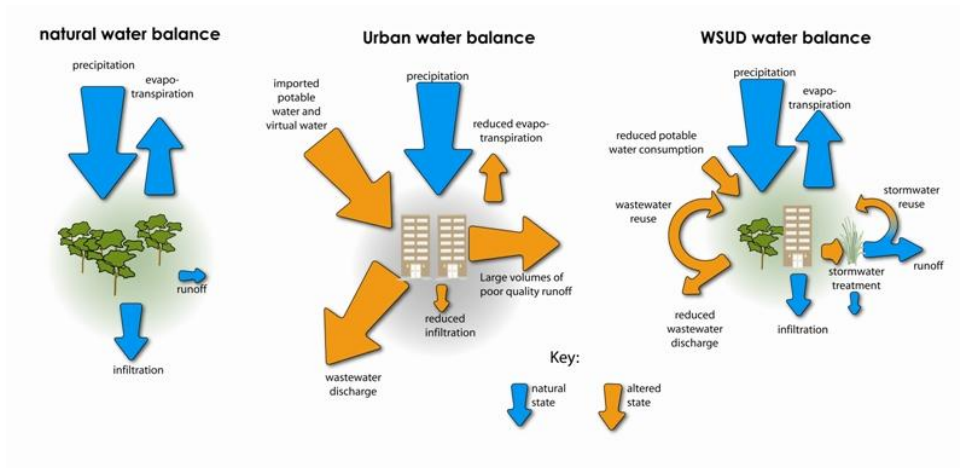
2.2.3.6 Τεχνικές διαμόρφωσης τοπίου (*Low impact landscaping*)

Η επιλογή της βλάστησης και η κατανομή της πρέπει να πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου τοπίου. Η αισθητική και η επίτευξη μακροπρόθεσμης συντήρησης του είναι από τους βασικούς στόχους. Για το λόγο αυτό επιλέγονται κατάλληλα εδαφικά μίγματα και είδη βλάστησης προσαρμοσμένα στο μικροκλίμα της υπό μελέτη περιοχής. Τα πυκνά και υγιή φυτά προσφέρουν οφέλη, όπως είναι η διείσδυση μέσω του ριζικού συστήματος, η ανθεκτικότητα κατά των παρασίτων και συνεπώς η μείωση των φυτοφαρμάκων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της τεχνικής είναι η φύτευση ιθαγενών φυτών με αντοχή στη ξηρασία, η αναδάσωση και η μετατροπή περιοχών γρασιδιού σε αντίστοιχες με θάμνους και με δέντρα (EPA, 2007).

2.3 «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ» - WSUD

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο «υδροκεντρικός αστικός σχεδιασμός», γνωστός και ως water- sensitive urban design (WSUD) είναι παρόμοια έννοια με την «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων». Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται, κυρίως στην Αυστραλία, για να περιγράψει το σχεδιασμό ενός αστικού χώρου, βασιζόμενος στις αλληλεπιδράσεις της αστικής ανάπτυξης της υπό μελέτη περιοχής με τον κύκλο του νερού και θέτει ως κεντρικό στόχο την αειφορία μέσω των πρακτικών διαχείρισης των υδάτων (Εικόνα 2.1). Αυτό επιτυγχάνεται με μια ολοκληρωμένη επισκόπηση του υπάρχοντος προβλήματος και μια πιο σύνθετη λύση συγκριτικά με τις μέχρι τώρα παραδοσιακές πρακτικές. Έτσι, τα όμβρια αντιμετωπίζονται ως πόρος κι όχι ως φόρτος. Συγκεκριμένα, όπως και στην «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων» δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην αντιμετώπιση του προβλήματος στον πυρήνα αυτού και τίθενται στόχοι, όπως η καλύτερη διαχείριση και η ελαχιστοποίηση της επιφανειακής απορροής, αλλά και η μείωση της ποσότητας του πόσιμου νερού που χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις (BMT WBM, 2009).



Εικόνα 2.1 Ο κύκλος του νερού σε φυσικό και αστικό περιβάλλον με ή χωρίς επίκεντρο τη διατήρηση των υδάτων (Hoban & Wong, 2006)

2.3.2 ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ»

Οι αρχές που διέπουν τον «υδροκεντρικό αστικό σχεδιασμό» παρατίθενται παρακάτω:

- Προστασία των αστικών υδατορευμάτων και υγροτόπων
- Προστασία και βελτίωση της ποιότητας των ομβρίων που αποστραγγίζονται και καταλήγουν στα κατάντη υδατορεύματα μέσω διαφόρων πρακτικών μέσα στο αστικό περιβάλλον
- Αποκατάσταση του υδατικού ισοζυγίου στις αστικές περιοχές με μεγιστοποίηση της ποσότητας νερού που προέρχεται από τις τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης του (συλλογή βρόχινου νερού, γκρι νερό).
- Εύκολη και αποδοτική εφαρμογή των πρακτικών του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού»
- Ενσωμάτωση των πρακτικών στις αστικές περιοχές με σκοπό την ενίσχυση των κοινωνικών, οικολογικών και οπτικών αξιών (Donofrio et al, 2009)

2.3.3 ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ»

Οι επιδιωκόμενοι στόχοι του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού» καταγράφονται παρακάτω:

- Προστασία φυσικών συστημάτων
- Ολοκληρωμένη διαχείριση των ομβρίων μέσα στον αστικό χώρο
- Προστασία ποιότητας νερού
- Μείωση των αιχμών και του όγκου της απορροής
- Αύξηση αξίας της γης με παράλληλη ελαχιστοποίηση του κόστους αντιπλημμυρικών έργων (CSIRO, 1999).

2.3.4 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΤΟΥ «ΥΔΡΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ»

Οι πρακτικές του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού» που χρησιμοποιούν τη διεργασία της διήθησης για την επεξεργασία των ομβρίων είναι γνωστές στην ξένη βιβλιογραφία ως *bioretention areas*. Σχεδιάζονται βάσει των βιολογικών και φυσικών χαρακτηριστικών ενός ορεινού δασικού ή πεδινού οικοσυστήματος. Η βλάστηση που επιλέγεται σε αυτά τα συστήματα για την απομάκρυνση των ρύπων των υδάτων αποτελείται από δέντρα, θάμνους και γρασίδι. Η απορροή οδηγείται σε αυτές τις ειδικές περιοχές είτε επιφανειακά είτε μέσω ενός αποστραγγιστικού δικτύου (NJDEP, 2009).

Οι βασικές πρακτικές του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού» παρατίθενται παρακάτω:

2.3.4.1 Λεκάνες καθίζησης (*Sediment basins*)

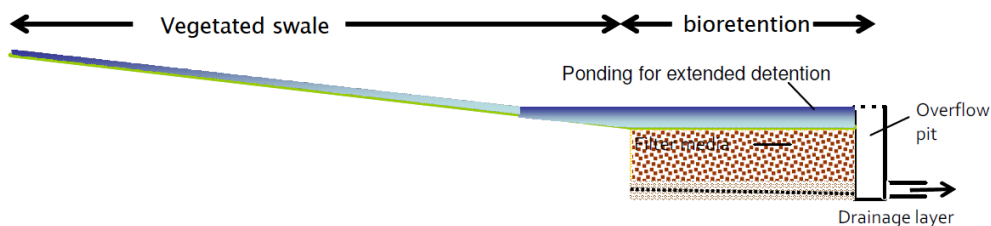
Οι λεκάνες καθίζησης (εικόνα 2.2) αποτελούν συνήθως το πρώτο στοιχείο της αλληλουχίας των πρακτικών βέλτιστης διαχείρισης για την επεξεργασία των ομβρίων, με σκοπό την εξομάλυνση της ροής τους και την απομάκρυνση των ρύπων από αυτά. Στην αγγλική βιβλιογραφία αυτή η αλληλουχία είναι γνωστή ως *stormwater treatment train (STT)*. Οι λεκάνες καθίζησης χρησιμοποιούνται για την κατακράτηση των χονδρόκοκκων φερτών υλών, διαμέτρου περίπου 125 μm. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση της ταχύτητας ροής, εφόσον σε συνθήκες ροής χαμηλών ταχυτήτων τα φερτά υλικά έχουν την τάση να κατακάθονται. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύονται τα κατάντη υδατορεύματα, καθώς αποφεύγεται ο κατακλυσμός τους από τις φερτές ύλες. Σημειώνεται ότι το μέγεθος των λεκανών καθίζησης καθορίζεται από την ταχύτητα καθίζησης των φερτών υλικών που ζητείται για δεδομένη ροή σχεδιασμού. Μια επιπρόσθετη πληροφορία που αφορά στην επιλογή των διαστάσεων των λεκανών, είναι ο χρόνος συντήρησης τους, ο οποίος προτιμάται να είναι περίπου πέντε χρόνια. Τέλος, αναφέρεται ότι οι λεκάνες καθίζησης τοποθετούνται συνήθως κοντά σε εργοτάξια και σε ορισμένες περιπτώσεις καθαρίζονται και τροποποιούνται για να λειτουργήσουν είτε ως ένα μόνιμο σύστημα διαχείρισης ομβρίων, είτε ως λεκάνη προσωρινής κράτησης είτε ως λεκάνη συγκράτησης (CSIRO, 2005).



Εικόνα 2.2 Λεκάνη καθίζησης (Προέλευση: http://en.wikipedia.org/wiki/Sediment_basin)

2.3.4.2 «Σύστημα βιοκατακράτησης ομβρίων» (*Bioretention swales*)

Τα «συστήματα βιοκατακράτησης ομβρίων» είναι συστήματα βιολογικής κατακράτησης που τοποθετούνται σε ένα μέρος ή καθ' όλο το μήκος μιας τάφρου. Τα όμβρια οδηγούνται στις τάφρους είτε άμεσα μέσω της επιφανειακής απορροής, είτε έμμεσα μέσω ενός εξωτερικού αγωγού. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται ουσιαστικά από ένα πρώτο τμήμα καλυμμένο με βλάστηση, στο οποίο κινείται επιφανειακά η απορροή και ένα δεύτερο, του οποίου κύρια λειτουργία είναι η διήθηση της. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.3, το νερό αρχικά εισέρχεται στην τάφρο, όπου μέσω της βλάστησης παρέχεται μια προ-επεξεργασία, κατά την οποία δεσμεύονται τα χονδρόκοκκα σωματίδια. Εν συνέχεια, διηθείται σε ένα ενδιάμεσο εδαφικό στρώμα και ύστερα κινείται κατακόρυφα μέσα σε ένα στρώμα φίλτρου για περαιτέρω επεξεργασία. Έπειτα, προωθείται μέσω κατάλληλων σωληνώσεων και είτε μεταφέρεται προς τα κατάντη είτε συλλέγεται για επαναχρησιμοποίηση (PUB, 2011).



Εικόνα 2.3 «Σύστημα βιοκατακράτησης ομβρίων» (PUB, 2011)

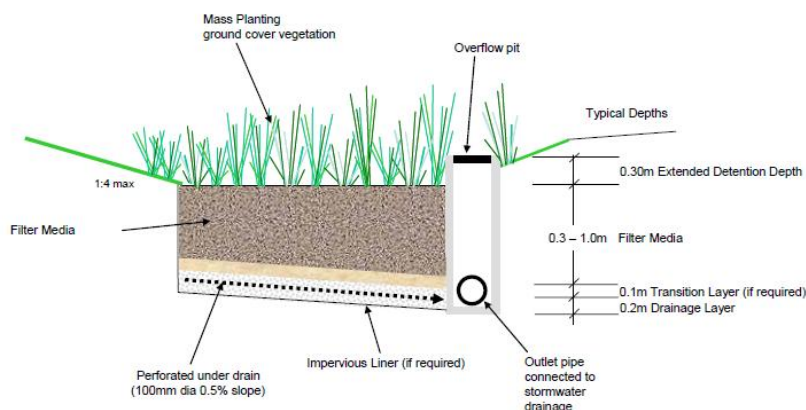
Τα «συστήματα βιοκατακράτησης ομβρίων» παρέχουν αποτελεσματική αντιμετώπιση των μικρών πλημμύρων μέσω των μηχανισμών της διήθησης, της μεταφοράς και της κατακράτησης του νερού. Συγκεκριμένα, είναι κατάλληλες για την μείωση της ταχύτητας ροής σε συνήθεις περιπτώσεις βροχής και για την απομάκρυνση του αζώτου αλλά και άλλων ρυπογόνων ουσιών. Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται με μέση κλίση 1 έως 4%. Σημειώνεται ότι σε απότομες κλίσεις είναι αναγκαία η κατασκευή μικρών φραγμάτων (check dams). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η διάβρωση του καναλιού και καθίσταται δυνατή η καθίζηση των ρύπων. Τέλος, σημειώνεται ότι έχουν καταγραφεί και κάποιες μειώσεις στην ταχύτητα της πλημμυρικής απορροής κατά τη διάρκεια καταιγίδων (BMT WBM, 2009).

2.3.4.3 «Λεκάνες Βιοκατακράτησης» (Bioretention basins)

Οι «λεκάνες βιοκατακράτησης» είναι περιοχές με βλάστηση στις οποίες η απορροή διηθείται στο έδαφος και επεξεργάζεται καθώς διαπερνά κατακόρυφα ένα στρώμα φίλτρου. Εν συνεχεία, το νερό είτε μεταφέρεται μέσω ενός αποστραγγιστικού συστήματος στα κατόντη είτε αποθηκεύεται για επαναχρησιμοποίηση. Συχνά σε αυτή την τεχνολογία χρησιμοποιούνται και τεχνητά λιμνάσματα, ώστε να καθίσταται δυνατή η επεξεργασία μεγαλύτερου όγκου απορροής (CSIRO, 2005). Σημειώνεται ότι οι «λεκάνες βιοκατακράτησης» είναι παρόμοιες με τα «συστήματα βιοκατακράτησης ομβρίων». Η διαφορά τους είναι ότι στις πρώτες δεν συμπεριλαμβάνονται συστήματα μεταφοράς υδάτων και οι μεγάλης έντασης ροές είτε εκτρέπονται από αυτή είτε απορρίπτονται μέσω ενός συστήματος υπερχείλισης. Αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών είναι η προστασία του στρώματος φίλτρου από υψηλές ταχύτητες που είναι πιθανό να επιφέρουν αποκόλληση αυτού.

Παράλληλα, οι «λεκάνες βιοκατακράτησης» παρέχουν αποτελεσματική αντιμετώπιση των μικρών πλημμύρων μέσω των μηχανισμών απορρόφησης των ρύπων και αυτών της διήθησης και κατακράτησης του νερού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να εφαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα κλιμάκων και σχημάτων. Ως εκ τούτου, τέτοια συστήματα τοποθετούνται είτε κατά τακτά χωρικά διαστήματα κατά μήκος του δρόμου πριν από ένα υπόγειο

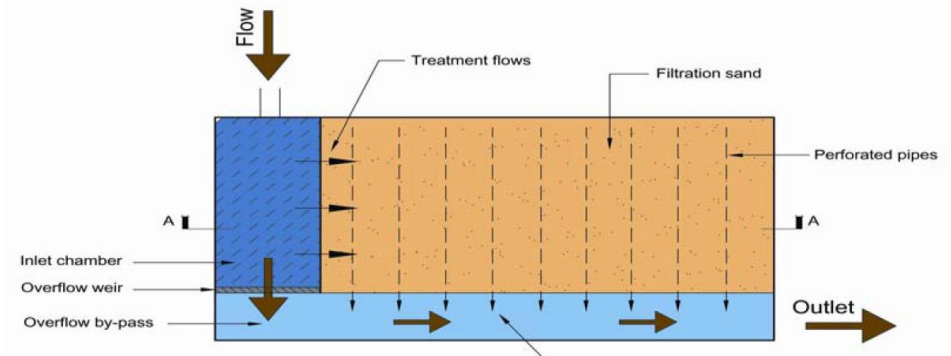
σύστημα αποστράγγισης, είτε στις εκβολές ενός συστήματος αποστράγγισης για να παρέχουν κατάλληλη διαχείριση της δεδομένης απορροής. Σημειώνεται ότι η δεύτερη περίπτωση αφορά σε μεγάλες εκτάσεις. Στην εικόνα 2.4 παρατίθεται η τυπική τομή μιας «λεκάνης βιοκατακράτησης» με υπερχειλιστή (overflow pit) (PUB, 2011).



Εικόνα 2.4 Τυπική τομή «λεκάνης βιοκατακράτησης» (PUB, 2011)

2.3.4.4 Αμμόφιλτρα (Sand filters)

Τα αμμόφιλτρα είναι τεχνολογία παρόμοιας λειτουργίας με τη «λεκάνη βιοκατακράτησης» και τα «συστήματα βιοκατακράτησης ομβρίων». Η διαφορά τους έγκειται στην απουσία βλάστησης στην επιφάνεια τους. Αυτό συμβαίνει για τους εξής δύο παράγοντες που καθιστούν αδύνατη την ανάπτυξη των φυτών. Πρώτον, τα αμμόφιλτρα είναι πιθανό να εγκατασταθούν υπόγεια με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η απαραίτητη ηλιακή ακτινοβολία και δεύτερον, το ενδιάμεσο φίλτρο μπορεί να μην περιέχει την απαραίτητη υγρασία. Η επεξεργασία των ομβρίων με τα αμμόφιλτρα είναι πολύ μικρότερη από αυτή που επιτυγχάνουν τα αντίστοιχα συστήματα που περιλαμβάνουν κι ένα στρώμα βλάστησης. Στην εικόνα 2.5 φαίνεται η κάτοψη της συγκεκριμένης πρακτικής. Το νερό εισέρχεται στο εδαφικό στρώμα, όπου και επεξεργάζεται, ενώ παράλληλα λειτουργεί και υπερχειλιστής για την εκτροπή του σε περίπτωση μεγάλης ροής.



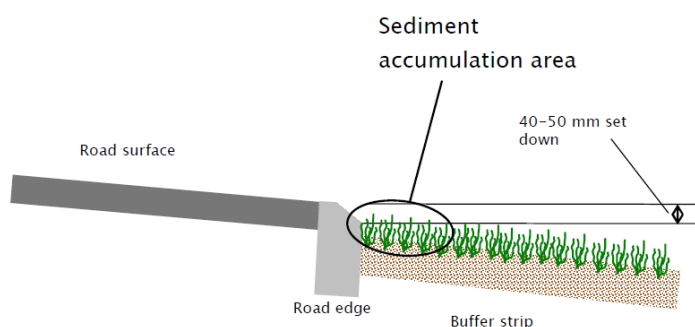
Εικόνα 2.5 Κάτοψη της τεχνολογίας των αμμόφιλτρων (Eadie, 2011)

Η επιλογή των αμμόφιλτρων πρέπει να εξετάζεται μόνο σε περιπτώσεις που υπάρχει χωρικός περιορισμός ή εκεί που το μεγαλύτερο μέρος της ποσοτικής και ποιοτικής επεξεργασίας της απορροής γίνεται υπόγεια. Αυτό είναι πιθανό να εφαρμοστεί στην εκ των υστέρων επέμβαση υπαρχουσών περιοχών, όπου η έντονη αστικοποίηση δεν αφήνει άλλα περιθώρια. Η έλλειψη της βλάστησης καθιστά αναγκαία την τακτική συντήρηση για να εξασφαλιστεί ότι η διαπερατότητα της επιφάνειας των αμμόφιλτρων παραμένει διαπερατή και ότι το σύστημα δεν έχει φράξει από συσσωρευμένα φερτά υλικά (Eadie, 2011).

2.3.4.5 «Φυτοκαλυμμένα συστήματα μεταφοράς ομβρίων» (*Swale and buffer systems*)

Τα «φυτοκαλυμμένα συστήματα μεταφοράς ομβρίων» αποτελούνται από τάφρους που είναι γραμμικές, ρηχές και πολλές φορές δύναται να περιλαμβάνουν και στρώμα βλάστησης (Εικόνα 2.6). Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των ομβρίων και είναι κατάλληλες για την αφαίρεση φερτών υλικών, μέσω και μεγάλων διαστάσεων, από αυτά. Παράλληλα, συντελούν στη μείωση του όγκου της απορροής μέσω της διήθησης και στην καθυστέρηση της αιχμής της απορροής. Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και είναι αρκετά ανθεκτικές στις μεγάλες ροές. Συνδυάζονται συχνά με φυτοκαλυμμένα τμήματα όπου πραγματοποιείται

περαιτέρω επεξεργασία της επιφανειακής απορροής πριν την είσοδο της στο αποστραγγιστικό δίκτυο (CSIRO, 2005).



Εικόνα 2.6 Τομή φυτοκαλυμμένου συστήματος μεταφοράς ομβρίων (CSIRO, 2005)

2.3.4.6 Τεχνητοί υγρότοποι (Constructed wetlands)

Οι τεχνητοί υγρότοποι είναι ρηχά, με εκτεταμένη βλάστηση υδάτινα σώματα που χρησιμοποιούν μηχανισμούς καθίζησης, απορρόφησης και διείδυσης για την επεξεργασία και τον καθαρισμό των ομβρίων από τα ρυπογόνα στοιχεία (Εικόνα 2.7). Η στάθμη του νερού ανεβαίνει κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων και η εκροή των υδάτων από τους τεχνητούς υγροτόπους έχει ρυθμιστεί να πραγματοποιείται με αργούς ρυθμούς, ώστε μετά από περίπου τρεις μέρες η στάθμη του νερού να επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα, που αντιστοιχούν σε ξηρές καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 2.7 Τεχνητός υγρότοπος (BMT WBM, 2009)

Οι υγρότοποι περιλαμβάνουν μια ζώνη εισόδου, στην οποία λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση των χονδρόκοκκων φερτών υλικών, μια ζώνη πυκνής βλάστησης μακρόφυτων, όπου αφαιρούνται τα λεπτόκοκκα σωματίδια και απορροφούνται οι διαλυτοί ρύποι και ένα κανάλι παράκαμψης σχεδιασμένο για υψηλές ροές για την προστασία της ζώνης μακρόφυτων.

Ένα πλεονέκτημα των τεχνητών υγροτόπων είναι ότι πέρα από τη συμμετοχή τους στην διεργασία αντιμετώπισης και εξυγίανσης των ομβρίων παρέχουν ενδιαιτήματα για την άγρια πανίδα και εστιάζουν σε εναλλακτικούς τρόπους ψυχαγωγίας, όπως διάδρομοι περιπάτων και χώροι ξεκούρασης. Με άλλα λόγια, συμβάλλουν και στην αισθητική του τοπίου, καθώς έχουν τη δυνατότητα να αποτελούν το κεντρικό στοιχείο γύρω από το οποίο μπορεί να επέλθει η ανάπτυξη αυτού (CSIRO, 2005).

2.3.4.7 Λίμνες (*Ponds*)

Οι λίμνες είναι ανοιχτά τεχνητά υδάτινα σώματα που σχηματίζονται είτε από ένα τοίχωμα φράγματος που λειτουργεί ως υπερχειλιστής είτε από εκσκαφή του εδάφους. Το βάθος του νερού σε αυτές τις κατασκευές είναι μεγαλύτερο από 1,5 m. Στις λίμνες παρατηρούνται διεργασίες καθίζησης σωματιδίων, πρόσληψης του αζώτου από το φυτοπλαγκτόν και απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας. Δύνανται να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση νερού με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του, αλλά και τη φιλοξενία της άγριας πανίδας. Τονίζεται ότι σε περιοχές όπου δεν καθίσταται δυνατή η δημιουργία τεχνητών υγροτόπων οι λίμνες χρησιμοποιούνται και για ποιοτική επεξεργασία των υδάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι αναγκαίος ένας σχεδιασμός που να επιτρέπει την ανάπτυξη υδρόβιων φυτών αντίστοιχων με αυτά που υπάρχουν στους τεχνητούς υγροτόπους. Κι αυτό γιατί τα υδρόβια φυτά παρέχουν μια επιφάνεια για απορρόφηση και διάλυση των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την ανάπτυξη του ζωοπλαγκτόν (CSIRO, 2005).

2.3.4.8 Πρακτικές διήθησης (*Infiltration measures*)

Οι πρακτικές διήθησης αποτελούνται από μια ρηχή τάφρο ή δεξαμενή, η οποία σχεδιάζεται για την προσωρινή κράτηση συγκεκριμένου όγκου υδάτων. Στη συνέχεια, μέσω της διεργασίας της διήθησης το νερό αυτό εισέρχεται στο έδαφος. Πολλές φορές τοποθετείται στην τάφρο βλάστηση για αισθητικούς λόγους. Για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας απαιτείται μια πρώτη επεξεργασία του βρόχινου νερού πριν τη διήθηση του για να αποφευχθούν προβλήματα φραγής των κενών του εδάφους, αλλά και για να προστατευτούν τα υπόγεια νερά από τυχόν ρύπους.

Οι πρακτικές διήθησης εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και έχουν καλύτερη απόδοση όταν τοποθετούνται σε αμμώδη εδάφη, των οποίων ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μεγάλο βάθος. Προτιμάται η εφαρμογή τους σε διαπερατά εδάφη για οικονομικούς λόγους, καθώς σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται μικρότερη έκταση της δεξαμενής κράτησης. Τονίζεται ότι τα συστήματα αυτά συμβάλλουν με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ποσοτική και στην ποιοτική βελτίωση των υδάτων στην εν λόγω περιοχή (CSIRO, 2005).

2.3.4.9 Δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων (*Rainwater tanks*)

Οι δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων συλλέγουν την απορροή από τις στέγες για επακόλουθη επαναχρησιμοποίηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η διαφορά ζήτησης-προσφοράς νερού, καθώς το βρόχινο νερό, που υπό άλλες συνθήκες θα μεταφερόταν μέσω των αγωγών ομβρίων σε κάποιο υδατόρευμα, χρησιμοποιείται για τις τοπικές ανάγκες, όπως είναι το πότισμα των κήπων. Παράλληλα, αυτές οι δεξαμενές συμβάλλουν στην μείωση των ρύπων, εφόσον το συλλεγμένο νερό δέχεται μια επεξεργασία καθαρισμού. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αυτών είναι ότι μειώνουν το μέγεθος των πλημμυρών, καθώς με την αποθήκευση του νερού οι δεξαμενές αυτές λειτουργούν σαν λεκάνες κατακράτησης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι των δεξαμενών αποθήκευσης ομβρίων. Κάποιες δεξαμενές μπορούν να συμπεριληφθούν στον όγκο του κτιρίου ώστε να μην επηρεάζουν αισθητικά τον περιβάλλοντα χώρο, άλλες τοποθετούνται υπόγεια και

άλλες, σε νεώτερες κατασκευές κυρίως, ενσωματώνονται σε φράχτες, τοιχία ή και σε συστήματα υδρορροών (CSIRO, 2005). Σημειώνεται ότι το μέγεθος που θα έχει η δεξαμενή εξαρτάται από το σκοπό που αυτή θα εξυπηρετήσει (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8 Δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων διαφόρων μεγεθών (πρόλευση: <http://www.pjtgreenplumbing.com.au/>)

Για την βελτίωση της ποιότητας του αποθηκευμένου νερού τοποθετούνται στις δεξαμενές ειδικοί μηχανισμοί εκτροπής της πρώτης καταιγίδας. Ύστερα από την εκτροπή αυτή, το νερό αποθηκεύεται για επαναχρησιμοποίηση. Το συλλεγμένο νερό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί χωρίς καμία επεξεργασία για το πότισμα των κήπων ή για τα καζανάκια των τουαλετών. Μια επιπλέον χρήση του είναι στα συστήματα παροχής ζεστού νερού. Σε αυτή την περίπτωση όμως, είναι απαραίτητη μια μικρή επεξεργασία του, για να μειωθεί η ποσότητα των παθογόνων μικροοργανισμών (Khastagir & Jayasuriya, 2010).

2.3.4.10 Τεχνολογία αποθήκευσης και ανάκτησης υδάτων από υπόγειο υδροφορέα (Aquifer storage and recovery - ASR)

Η τεχνολογία αποθήκευσης και ανάκτησης υδάτων από υπόγειο υδροφορέα είναι μια μέθοδος εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων μέσω αντλιών. Αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο αποθήκευσης νερού, η οποία είναι πιο οικονομική σε σχέση με την επιφανειακή αποθήκευση αυτού. Στις αστικοποιημένες περιοχές, η περίσσεια του νερού που προκύπτει κατά τις υγρές περιόδους

αποθηκεύεται υπόγεια και ακολούθως συλλέγεται για επαναχρησιμοποίηση κατά τις ξηρές περιόδους. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι να μειωθεί η εξάρτηση της πόλης από το κεντρικό δίκτυο παροχής. Αυτή η μέθοδος εξαρτάται κυρίως από το είδος του εδάφους, τη γεωλογία της περιοχής καθώς και από την ύπαρξη ή μη υπόγειων υδροφόρων οριζόντων (CSIRO, 2005).

2.3.4.11 Διαπερατά πεζοδρόμια (*Porous pavements*)

Είναι διαπερατά πεζοδρόμια τα οποία κατασκευάζονται είτε μονολιθικά είτε τμηματικά. Τοποθετούνται πάνω σε άμμο ή χαλίκια και αποτελούνται από ένα γεωύφασμα κάτω από το οποίο υπάρχει μια στρώση χονδρόκοκκων αδρανών. Κατά το σχεδιασμό τους πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον κυκλοφοριακό φόρτο που δύναται να δεχθούν. Σημειώνεται ότι είναι καλό να αποφεύγεται η χρήση τους σε δρόμους με αυξημένη κυκλοφορία, γιατί οι ρύποι σε αυτές τις περιπτώσεις τείνουν να φράξουν τα κενά (CSIRO, 2005).

2.3.4.12 Πράσινες στέγες και πράσινοι τοίχοι (*Green roofs and walls*)

Το μεγάλο ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές της γης καθιστούν τη δημιουργία των πράσινων χώρων στις αστικές περιοχές οικονομικά ασύμφορο. Με δεδομένο την τεράστια ποσότητα των αχρησιμοποίητων στεγών και ταρατσών, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι αποτελούν μια πολύ διαδεδομένη λύση στις έντονα αστικοποιημένες περιοχές (Ferguson, 1998). Συγκριτικά με τις περισσότερες πρακτικές που περιγράφονται παραπάνω, καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο, χαρακτηριστικό που είναι απαραίτητο για την εύκολη ένταξη τους στις πόλεις. Σε γενικές γραμμές, αποτελούνται από ένα υπόστρωμα ανάπτυξης, το οποίο είναι μερικώς ή ολικώς καλυμμένο με βλάστηση και μια αδιάβροχη μεμβράνη. Συντελούν στην αναβάθμιση της ποιότητας και στον έλεγχο του όγκου των ομβρίων. Συνεπώς, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι δύναται να αποτελέσουν μια πολύ ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση. Στο ακόλουθο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στις πράσινες στέγες.

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (πίνακας 2.1) του ρόλου και της λειτουργίας των κυριότερων πρακτικών του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού»:

Πίνακας 2.1 Βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων μέσω των τεχνολογιών του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού» (WCC, 2009)

Τεχνολογία	Αναβάθμιση ποιότητας υδάτων	Έλεγχος ποσότητας υδάτων
Λεκάνες καθίζησης	Υψηλή	Μέση
Συστήματα βιοκατακράτησης ομβρίων	Υψηλή	Μέση
Λεκάνες Βιοκατακράτησης	Υψηλή	Μέση
Φυτοκαλυμμένα συστήματα μεταφοράς ομβρίων	Υψηλή	Χαμηλή
Τεχνητοί υγρότοποι	Υψηλή	Χαμηλή
Πρακτικές διήθησης	Υψηλή	Μέση
Δεξαμενές αποθήκευσης ομβρίων	Χαμηλή	Υψηλή
Τεχνολογία αποθήκευσης και ανάκτησης υδάτων από υπόγειο υδροφόρα	Μέση	Χαμηλή
Διαπερατά πεζοδρόμια	Μέση	Μέση

2.4 «ΗΠΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ»

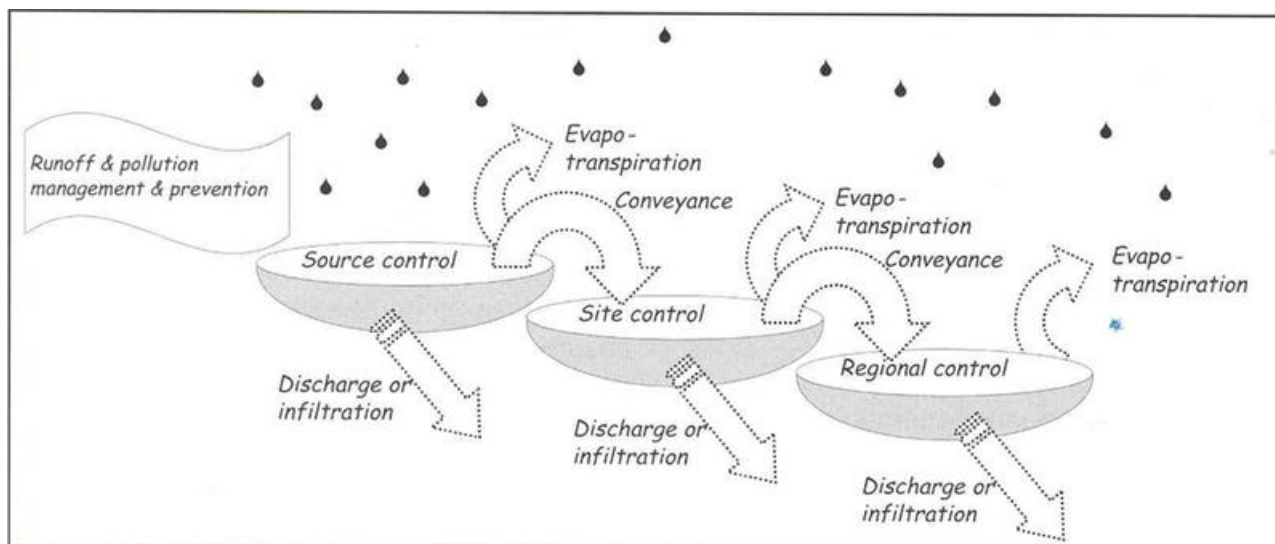
2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα δίκτυα ομβρίων που έχουν ως στόχο την αειφόρο ανάπτυξη είναι γνωστά και ως «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων» (sustainable drainage systems- SuDS). Είναι σχεδιασμένα για να προλαμβάνουν και να περιορίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν λόγω της επιφανειακής απορροής και για να συμβάλουν, όποτε είναι δυνατό, στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος. Με άλλα λόγια, οι στόχοι των «ήπιων συστημάτων διαχείρισης ομβρίων» είναι η ελαχιστοποίηση των επιδράσεων της αστικής ανάπτυξης τόσο στην ποιότητα όσο και στην ποσότητα των υδάτων και στην ενίσχυση της αισθητικής και της βιοποικιλότητας. Οι τρεις αυτές προσδοκίες είναι ισάξιες και συνεπώς η ιδανική λύση πρέπει να τις λαμβάνει όλες υπόψη, όσο αυτό επιτρέπεται από τα χαρακτηριστικά και τα εμπόδια του τόπου εφαρμογής (Southampton City Council, 2009).

2.4.2 ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ

Για την αντιμετώπιση της απορροής όσο πιο κοντά στην πηγή και τη δημιουργία της υδρολογικής κατάστασης που υπήρχε πριν την επίδραση της αστικοποίησης πρέπει να τεθεί κάποιο σχέδιο δράσης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.9, αυτό περιλαμβάνει τέσσερις συνιστώσες, οι οποίες παρουσιάζονται με σειρά προτεραιότητας.

- Πρόληψη: Σύμφωνα με αυτή, είναι αναγκαίο να εφαρμοστούν μέτρα διαχείρισης για την παρεμπόδιση της μόλυνσης των υδάτων και της αύξησης του όγκου τους.
- Περιορισμός της απορροής στην πηγή
- Περιορισμός της απορροής σε τοπικό επίπεδο
- Περιορισμός της απορροής σε περιφερειακό επίπεδο (CIRIA, 2000)



Εικόνα 2.9 Σχηματική αναπαράσταση των συνιστωσών του σχεδίου δράσης βάσει των «ήπιων συστημάτων διαχείρισης ομβρίων» (CIRIA, 2000)

2.4.3 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΤΩΝ «ΗΠΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ»

Οι πρακτικές που εφαρμόζονται στα «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων» είναι παρόμοιες με αυτές του «υδροκεντρικού αστικού σχεδιασμού» και της «αστικής ανάπτυξης ήπιων επιπτώσεων». Παρακάτω γίνεται αναφορά αυτών των τεχνολογιών.

- Λωρίδες Διήθησης (Filter strips): Είναι περιοχές καλυμμένες με γρασίδι ή άλλο είδος βλάστησης, με μικρή κλίση και μεγάλο πλάτος. Στόχος τους είναι η επεξεργασία της απορροής από γειτονικές αδιαπέρατες επιφάνειες.
- Τάφροι (Swales): Είναι επιφανειακές εκτάσεις καλυμμένες με γρασίδι ή άλλη κατάλληλη βλάστηση. Σχεδιάζονται για τη μεταφορά και την αποθήκευση της απορροής. Πολλές φορές, εφόσον το έδαφος είναι κατάλληλο καθίσταται δυνατή και η διήθηση των ομβρίων.
- Λεκάνες διήθησης (Infiltration basins)
- Λίμνες (Wet ponds)

- Εκτεταμένες λεκάνες κράτησης (Extended detention basins): Είναι λεκάνες οι οποίες συνήθως είναι ξηρές ή έχουν μικρές μόνιμες λίμνες στην είσοδο και στην έξοδο τους. Σχεδιάζονται για την κράτηση και την επεξεργασία συγκεκριμένου όγκου νερού.
- Τεχνητοί Υγρότοποι (Constructed wetlands)
- Στραγγιστικά φίλτρα και διάτρητοι σωλήνες (Filter drains and perforated pipes): Είναι ορύγματα στα οποία τοποθετείται υλικό με μεγάλη διαπερατότητα. Το νερό που κινείται επιφανειακά στις γειτονικές αδιαπέρατες επιφάνειες εισέρχεται στο ορύγμα, διεισδύει και μεταφέρεται σε άλλη τοποθεσία. Πολλές φορές κατασκευάζεται και ένας σωλήνας στη βάση του ορύγματος για τη συλλογή και τη μεταφορά των υδάτων.
- Συσκευές διήθησης (Infiltration devices): Χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση της απορροής μιας περιοχής και επιτρέπουν τη διείσδυση στο άνω μέρος του εδάφους.
- Διαπερατές επιφάνειες (Pervious surfaces): Επιτρέπουν τη διήθηση του βρόχινου νερού και την αποθήκευση του σε ένα υπόγειο αποθηκευτικό στρώμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα διαπερατά πεζοδρόμια.
- Πράσινες στέγες (Green roofs) (CIRIA, 2000)

2.5 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τα οφέλη από την «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων», τον «υδροκεντρικό αστικό σχεδιασμό» και τα «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων» είναι ευρέως αναγνωρισμένα (EPA, 2007, CSIRO, 1999). Ακολούθως, αναφέρονται ορισμένα περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα αυτών.

➤ Μείωση της ρύπανσης:

Οι πρακτικές τους μειώνουν τα ρυπογόνα φορτία μέσω των διεργασιών της καθίζησης, της διήθησης, της προσρόφησης και της βιολογικής λήψης. Επιπλέον, τα λιγότερο μολυσμένα ύδατα που καταλήγουν στα αστικά υδατορεύματα βελτιώνουν τα ενδιαιτήματα για την υδρόβια και για τη χερσαία πανίδα, ενώ παράλληλα ενισχύουν τη δημιουργία χώρων ψυχαγωγίας. Τέλος, μειώνεται σημαντικά το κόστος για την επεξεργασία του νερού ώστε να πληροί τις κατάλληλες προδιαγραφές.

➤ Επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα:

Η αυξανόμενη έλλειψη νερού οδηγεί στην ανάγκη ανάπτυξης μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Το βρόχινο νερό μέσω της διείσδυσης τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφορείς και αυξάνει τη βασική ροή. Η επαρκής βασική ροή είναι απαραίτητη ειδικά κατά τη διάρκεια ξηρασίας, διαφορετικά θα υπήρχαν φαινόμενα μεγάλων διακυμάνσεων στο βάθος, στη θερμοκρασία και στη ροή των υδατορευμάτων.

➤ Βελτίωση περιβάλλοντος:

Οι τεχνικές τους δύναται να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των φυσικών πόρων και της τοπικής πανίδας, για τη διατήρηση ή την αύξηση της αξίας της γης και για τη μείωση του κόστους για πρακτικές μετριασμού των φαινομένων που προκύπτουν λόγω της αστικοποίησης.

- Μείωση πλημμυρών και υλικών ζημιών στις κατάντη περιοχές:

Με τη μείωση των αιχμών και του όγκου απορροής, ελαττώνεται και η πιθανότητα ακραίων πλημμυρών στα κατάντη και συνεπώς οι πιθανές υλικές ζημιές που θα προκαλούσαν οι παραπάνω πλημμύρες. Η διαχείριση της απορροής στην πηγή του προβλήματος μειώνει επιπλέον τη διάβρωση και τη μεταφορά των ιζημάτων και ακολούθως και τις δαπάνες για καθαρισμό των κατάντη υδατορευμάτων.

- Αισθητική αξία:

Οι περισσότερες πρακτικές τους είναι συνήθως ελκυστικές, καθώς η διαμόρφωση τοπίου είναι αναπόσπαστο κομμάτι αυτών. Συχνά, επιλέγονται τεχνικές που περιλαμβάνουν δέντρα, θάμνους και φυτά. Αυτό οδηγεί παράλληλα και στην αύξηση της αξίας της γης.

- Ποιότητα ζωής και συμμετοχή του κοινού

Οι τεχνικές τους που εφαρμόζονται σε ιδιωτικούς χώρους μπορεί να ευαισθητοποιήσουν τους ιδιοκτήτες στα θέματα ποιότητας και σωστής αξιοποίησης του υπάρχοντος νερού.

- Μείωση ή εξάλειψη της ανάγκης χρήσης κεντρικής διαχείρισης για τον έλεγχο των ομβρίων.

Σημειώνεται ότι όταν εφαρμόζονται ευρέως οι τεχνικές τους, μπορεί να επιφέρουν και άλλα οφέλη όπως είναι η μετρίαση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και της κλιματικής αλλαγής, η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πράσινη στέγη, γνωστή και ως οικολογική οροφή, πράσινη ταράτσα, φυτεμένο δώμα ή ταρατσόκηπος είναι μια στέγη πλήρως ή εν μέρει καλυμμένη από βλάστηση, η οποία αποτελεί προέκταση της ήδη υπάρχουσας οροφής. Επίσης, η πράσινη στέγη είναι δυνατόν να ορισθεί ως ένα στρώμα φυτοκάλυψης ή χώματος στην κορυφή ενός κτιρίου επίπεδου ή με κλίση.

Η βασική δομή μιας πράσινης στέγης περιλαμβάνει τα ακόλουθα στρώματα:

- Τμήμα για στατική στήριξη των επιπλέον φορτίων της στέγης (Conventional structural support)
- Προστατευτική στρώση:
 - Υπόστρωμα συγκράτησης υγρασίας (Vapour control)
 - Θερμομονωτική μεμβράνη ή θερμομονωτικό στρώμα (Thermal insulation)
 - Μονωτική μεμβράνη στέγης (Waterproof roofing membrane)
 - Μεμβράνη ελέγχου ριζών (Root repellent system)
- Αποστραγγιστικό δίκτυο ή σύστημα αποστράγγισης (Drainage system)
- Φύλλο διήθησης ή διηθητικό φύλλο (Filtering layer)
- Ειδικό ελαφρύ υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών (Growing medium)
- Βλάστηση – Φυτοκάλυψη (Plants)

Πολλές φορές, ανάμεσα στο αποστραγγιστικό στρώμα και στη μεμβράνη ελέγχου ριζών υπάρχει μια επιπλέον προστατευτική ζώνη (<http://www.egreen.gr/>).

3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι πράσινες στέγες πρωτοεμφανίστηκαν τον έβδομο αιώνα Π.Χ. στη Βαβυλώνα. Εκείνη την εποχή ήταν γνωστοί ως οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, μια επιβλητική κατασκευή, η οποία χτίστηκε από το βασιλιά Ναβουχοδονόσορ τον δεύτερο (Nebuchadnezzar II) προς τιμήν της γυναίκας του, Άμυτις. Οι Κρεμαστοί Κήποι, πιθανολογείται ότι κατασκευάστηκαν κοντά στον ποταμό Ευφράτη και αποτελούνταν από διαδοχικές αναβαθμίδες, στις οποίες φύτεωναν διάφορα είδη βλάστησης, τα οποία προέρχονταν από διάφορες περιοχές της αυτοκρατορίας. Μερικοί πρόσφατοι ερευνητές, σε μια λιγότερο αξιόπιστη θεωρία, υποθέτουν ότι οι κρεμαστοί κήποι χτίστηκαν από τη βασίλισσα των Ασσυρίων Σεμίραμι. Οι Κρεμαστοί Κήποι πιθανότατα είναι το πρώτο παράδειγμα μιας εντατικού τύπου πράσινης στέγης, η οποία είχε ως κύριο στόχο την οπτική τέρψη (Rohrbach, 2003).



Εικόνα 3.1 Οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας (Προέλευση: http://en.wikipedia.org/wiki/Hanging_Gardens_of_Babylon)

Εξίσου σημαντικές πηγές για τους πρώτους τεχνητούς κήπους, αποτελούν τα Ζιγκουράτ, τα οποία συναντώνται και αυτά στην περιοχή της Μεσοποταμίας και αποτελούσαν τις φυτοκαλυμμένες κλιμακωτές εξέδρες πάνω στις οποίες έκτιζαν οι Βαβυλώνιοι τους ναούς και τα ιερά για να λατρέψουν τους θεούς τους.

Στην εποχή του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης, καλοδιατηρημένες πράσινες στέγες συναντώνται σε παλάτια και επαύλεις της Ιταλίας, καθώς επίσης σε

εκκλησιαστικά κτίρια και μοναστηριακά συγκροτήματα της βορειοδυτικής Γαλλίας. Ένα από τα πρώτα παραδείγματα αποτελεί η πράσινη στέγη στο Palazzo Piccolomini στη Pienza στην Ιταλία, που χτίστηκε τον 15ο αιώνα για τον Πάπα ρυίς II (Grant et al 2003). Επίσης, μια ακόμη ενδιαφέρουσα εφαρμογή αποτελεί η πράσινη στέγη που κατασκευάστηκε στο Benettoni Tower στο Λούκα. Η οροφή, η οποία ανήλθε 40 μέτρα πάνω από το έδαφος, περιείχε τέσσερα μεγάλα δέντρα βελανιδιάς (Grant et al 2003) και αποτελεί δείγμα εντατικού τύπου με μεγάλη ποικιλομορφία ακόμα και σε αυτό το πρώιμο στάδιο της ανάπτυξής.



Εικόνα 3.2 Παλάτι Piccolomini στη Pienza (Προέλευση: <http://davincidarlin.blogspot.gr/2008/02/palazzo-piccolomini-pienza.html>)

Ακόμη, ευρήματα πράσινων στεγών έχουν βρεθεί και σε δείγματα κέλτικης αρχιτεκτονικής στα Χάιλαντς της Σκωτίας, την Ουαλία και την Ιρλανδία.

Οι ρίζες των πράσινων στεγών βρίσκονται ουσιαστικά στις κρύες χώρες της Ισλανδίας και της Σκανδιναβίας (Thompson, 1998). Στις περιοχές αυτές πολλές στέγες καλύφθηκαν με χλοοτάπητα, που αφαιρέθηκε από τα γύρω λιβάδια, για τη μόνωση των σπιτιών. Κάτω από το στρώμα αυτού τοποθετήθηκαν βαριά ξύλινα δοκάρια από φλοιό σημύδας με διάκενα μεταξύ τους, τα οποία λειτουργούσαν ως ένα στρώμα στεγανοποίησης (Magnusson, 1987).

Με την ανάπτυξη του πράσινου κινήματος στις αρχές της δεκαετίας του 1960, με την αναγκαιότητα για την εύρεση μιας βιώσιμης λύσης στον σχεδιασμό και στην κατασκευή των κτιρίων, αλλά και με τις Κοινοτικές Οδηγίες τα σύγχρονα παραδείγματα πράσινων στεγών, τόσο στον ευρωπαϊκό χώρο, όσο και στην Αμερική, ολοένα και πληθαίνουν.

Έως το 1970 οι πράσινες στέγες αποτελούσαν πολυτελή διακόσμηση των σπιτιών. Εκείνη την περίοδο, υπήρχε μια τάση να χρησιμοποιούνται δοχεία για φύτευση στις στέγες, στις κληματαριές και στις κάθετες επιφάνειες των τοίχων αλλά και φυτά τα οποία κάλυπταν την οροφή των χώρων στάθμευσης. Αυτή η προσέγγιση σταμάτησε το 1977 με τη δημιουργία μιας γερμανικής οργάνωσης της Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, που σχετιζόταν με την αρχιτεκτονική τοπίου, τα αρχικά της οποίας είναι FLL. Η οργάνωση αυτή με τη βοήθεια κάποιων πανεπιστημιακών ερευνητών, μελέτησε τις πράσινες στέγες από διάφορες οπτικές γωνίες. Τις εξέτασε ως προς τη δυνατότητα τους να αποτελέσουν πιθανά ενδιαιτήματα για την πανίδα, πιθανά συστήματα αποστράγγισης και εξοικονόμησης ενέργειας και ως προς την ένταξη τους στο σχεδιασμό ολόκληρης της πόλης με κέντρο την πράσινη ανάπτυξη (FLL, 2002).

Σήμερα, οι πράσινες στέγες είναι πιο δημοφιλείς σε χώρες όπως η Ελβετία, η Σουηδία, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, ο Καναδάς, η Ισπανία, η Αυστραλία και η Αίγυπτος. Η τεχνολογία των πράσινων στεγών θεωρείται μια αποτελεσματική οικολογική προσέγγιση για τη διαχείριση του αστικού σχεδιασμού. Για παράδειγμα, στη Στουτγάρδη απαιτείται σε όλες τις επίπεδες οροφές των βιομηχανικών κτιρίων η κατασκευή πράσινης οροφής (Φουρτή, 2008).

3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

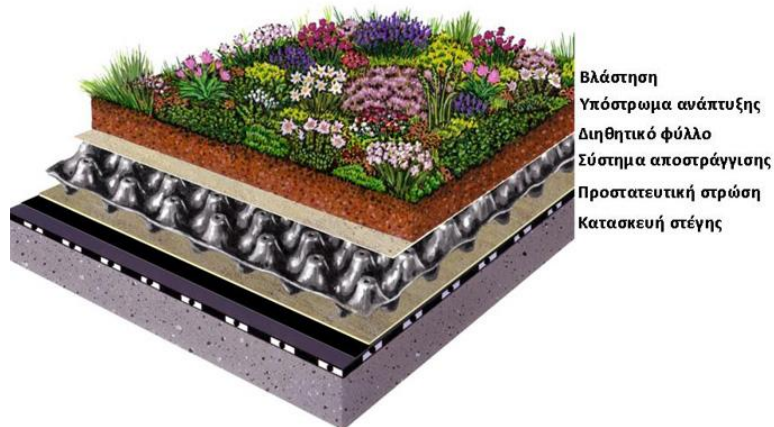
3.3.1 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ Η ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ

Η ανάγκη ή όχι ενός στρώματος θερμομόνωσης και οι προδιαγραφές για την αδιάβροχη μεμβράνη εξαρτώνται κυρίως από τις απαιτήσεις για μόνωση του εκάστοτε κτιρίου. Σημειώνεται ότι η θερμομόνωση που απαιτείται μπορεί να μειωθεί ανάλογα με τις θερμικές ιδιότητες του υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών.

Διακρίνονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- η πράσινη στέγη χωρίς θερμομονωτική μεμβράνη (non insulated roof)
- η «θερμομονωμένη στέγη» (warm roof)
- η ανεστραμμένη στέγη (inverted roof) (Axter Ltd, 2004)

Η πρώτη (εικόνα 3.3) προτιμάται σε εκτατικού κυρίως τύπου πράσινες στέγες, δεν περιλαμβάνει το στρώμα της θερμομόνωσης και κατασκευάζεται πάνω από υπόγειους χώρους στάθμευσης, από τούνελ κλπ.

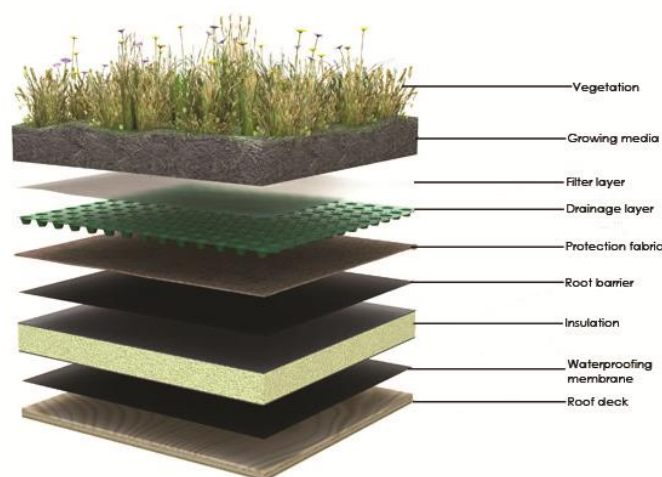


Εικόνα 3.3 Δομή πράσινης στέγης χωρίς θερμομονωτική μεμβράνη (Προέλευση:

<http://www.egreen.gr/>)

Όσον αφορά στη «θερμομονωμένη στέγη» (εικόνα 3.4), η θερμομονωτική μεμβράνη τοποθετείται μεταξύ του καταστρώματος της στέγης και της αδιάβροχης μεμβράνης και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται μικρά πάχη στα

στρώματα της. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τη διάρκεια της συντήρησης, καθώς μπορεί να προκληθούν προβλήματα στην υπερκείμενη αδιάβροχη μεμβράνη. Ο τύπος αυτός έχει ευρεία εφαρμογή στα εκτατικά συστήματα, όπου απαιτείται μικρή ή μηδενική συντήρηση και πολλές φορές δεν είναι εφικτή η πρόσβαση.



Εικόνα 3.4 Δομή «θερμομονωμένης στέγης» (Προέλευση: <http://dcgreenworks.org/>)

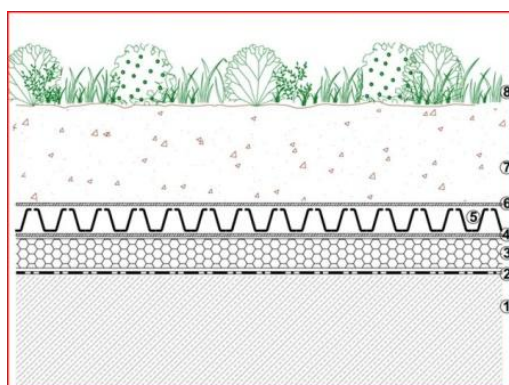
Στις ανεστραμμένες στέγες, η θερμομόνωση τοποθετείται πάνω από την αδιάβροχη μεμβράνη. Το πλεονέκτημα αυτών είναι ότι προστατεύουν την αδιάβροχη μεμβράνη, η οποία μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να παραλαμβάνει μεγάλα φορτία. Αυτός ο τύπος επιλέγεται στις περιπτώσεις που το ολικό πάχος της πράσινης στέγης δεν είναι περιορισμένο και είναι αναγκαία η τακτική συντήρηση. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν αυτόν τον τύπο κατάλληλο για τις εντατικές πράσινες στέγες (Axter Ltd, 2004).

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα υλικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το στρώμα θερμομόνωσης. Τα πιο αποδοτικά με βάση τη βιωσιμότητα τους είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS), το αφρώδες γυαλί με μια σφραγισμένη επιφάνεια και το ενισχυμένο με γυαλί σκυρόδεμα (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

Στα ανεστραμμένα συστήματα, επειδή η θερμομονωτική μεμβράνη είναι πάνω από την αδιάβροχη μεμβράνη, το υλικό πρέπει να είναι αδιαπέρατο και ως εκ τούτου, προτείνεται η εξηλασμένη πολυστερίνη.

Στην εικόνα 3.5 παρουσιάζονται τα στρώματα μιας ανεστραμμένης στέγης, όπου:

1. Κατασκευή δώματος με εφαρμογή στρώσης στεγανοποίησης
2. Μembrάνη ελέγχου ριζών
3. Θερμομονωτική στρώση
4. Διαχωριστική μεμβράνη
5. Αποστραγγιστικό στρώμα .
6. Διηθητικό φύλλο συγκράτησης υποστρώματος ανάπτυξης
7. Υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών
8. Βλάστηση (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>)



Εικόνα 3.5 Τομή ανεστραμμένης πράσινης στέγης (Προέλευση: <http://taratsokipos.blogspot.gr/>)

3.3.2 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Στη «θερμομονωμένη στέγη» το υπόστρωμα συγκράτησης υγρασίας τοποθετείται κάτω από τη μεμβράνη της θερμομόνωσης και έχει ως σκοπό να αποτρέψει τη συμπύκνωση που μπορεί να προκληθεί στην οροφή.

Στην εικόνα 3.6 φαίνεται ένα συνθετικό υπόστρωμα πολυεστέρα υψηλής ποιότητας κατασκευασμένο από ανακυκλωμένες ίνες και υψηλής μηχανικής αντοχής.



Εικόνα 3.6 Υπόστρωμα συγκράτησης υγρασίας (Alumasc Exterior Building Products, 2004)

3.3.3 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΜΟΝΩΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Η μονωτική μεμβράνη έχει ως στόχο την προστασία του κτιρίου από τις διαρροές. Είναι αναγκαίο να είναι εύκαμπτη αλλά και ανθεκτική στα οξέα που εκκρίνονται από τις ρίζες κάποιων φυτών. Κατασκευάζεται από ποικίλα υλικά όπως είναι η ελαστική μεμβράνη (EPDM), τα συνθετικά ασφαλτόπανα, τα ενισχυμένα φύλλα PVC, τα συνθετικά ελαστικά, οι θερμοπλαστικές πολυολεφίνες (TPOs) και άλλα πολλά (Scholz-Barth, 2001).

Το μειονέκτημα με την ελαστική μεμβράνη EPDM είναι ότι οι ραφές θα πρέπει να συγκολλούνται με κόλλα ή ταινία, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλό δυνητικό κίνδυνο για διαρροές. Όσον αφορά στις θερμοπλαστικές πολυολεφίνες (TPOs), αυτές θεωρούνται φιλικές ως προς το περιβάλλον. Ωστόσο, επειδή δεν έχουν ευρεία εφαρμογή στην Αμερική, δεν έχουν δοκιμαστεί αρκετά. Εκτός από αυτό, οι κατασκευαστές τους πολύ συχνά προσθέτουν ειδικά επιβραδυντικά φλόγας για την κάλυψη των αυστηρών κωδίκων πυρκαγιάς στην Αμερική, τα οποία δύναται να επηρεάσουν μακροπρόθεσμα την απόδοση της μεμβράνης (Scholz-Barth, 2001).

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση που η μονωτική μεμβράνη περιέχει άσφαλτο ή άλλα οργανικά υλικά, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της από το υπόστρωμα ανάπτυξης, με ένα ενδιάμεσο στρώμα για την αποφυγή διεισδύσεων του ριζικού

συστήματος στην ευπαθή αυτή μεμβράνη. Κάποιες νέες τεχνολογίας μεμβράνες, που αναπτύχθηκαν συγκεκριμένα για την εφαρμογή τους σε πράσινες στέγες, αν και εξακολουθούν να περιέχουν άσφαλτο, δύναται να χρησιμοποιηθούν χωρίς τη μεμβράνη ελέγχου ριζών, καθώς περιέχουν ειδικό «αντιρρίζικο» χημικό υλικό. Τονίζεται όμως ότι η παραπάνω χημική σύνθεση της μεμβράνης πρέπει να είναι συμβατή με όλα τα υπόλοιπα στρώματα της πράσινης στέγης που έρχεται σε επαφή (Peck & Kuhn, 2003).

Η μονωτική μεμβράνη εφαρμόζεται στην επιφάνεια του κτιρίου, είτε σε υγρή μορφή (εικόνα 3.7), είτε υπό μορφή φύλλων και συγκρατεί το νερό. Από πολλούς υποστηρίζεται η άποψη ότι η εφαρμογή της σε υγρή μορφή προσφέρει καλύτερη στεγανοποίηση και ευκολότερη συντήρηση (McDonough & Partners, 1999). Λόγω όμως, αυτής της υγρής μορφής, είναι αναγκαία η απευθείας εγκατάσταση στην επιφάνεια της πλάκας της στέγης, που έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση των υπόλοιπων στρωμάτων αυτής (στρώση μόνωσης και άλλων).



Εικόνα 3.7 Μονωτική μεμβράνη σε υγρή μορφή (Προέλευση: http://www.rdherbert.com/pfolio_green_projects_n01.html)

Από την άλλη πλευρά, λαμβάνοντας υπόψη ορισμένους περιορισμούς και ακολουθώντας τις απαιτήσεις του κανονισμού, η μονωτική μεμβράνη υπό μορφή φύλλων (εικόνα 3.8) μπορεί να εγκατασταθεί σε υφιστάμενες στέγες. Σε ευρεία κλίμακα, οι κατασκευαστές προτιμούν την εφαρμογή της στην πλάκα οροφής. Ένα

μειονέκτημα των μεμβρανών υπό μορφή φύλλων είναι ότι έχουν δυσκολίες τόσο στη συντήρηση όσο και στην επιδιόρθωση τους (<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>).



Εικόνα 3.8 Μονωτική μεμβράνη υπό μορφή φύλλων (Προέλευση: <http://www.lindumgreenroofs.co.uk/>)

Κατά την τοποθέτηση της μονωτικής μεμβράνης είναι απαραίτητη η σχολαστική και σωστή εργασία για την προφύλαξη της από τυχόν ζημιές. Μετά την εφαρμογή της στη δεδομένη επιφάνεια, είναι σημαντικός ο έλεγχος ως προς την αδιαπερατότητα της και η επισκευή αυτής σε περίπτωση ανάγκης. Σε γενικές γραμμές, κατά τη διάρκεια της κατασκευής της πράσινης στέγης και συγκεκριμένα αμέσως μετά την τοποθέτηση της μεμβράνης και πριν την τοποθέτηση του επόμενου στρώματος συνιστάται η δοκιμή αυτής σε πλημμύρα. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό, αν αναλογιστεί κανείς, ότι λόγω της φύσης της πράσινης στέγης είναι τόσο οικονομικά όσο και τεχνικά πιο εύκολη η πρόληψη από τη θεραπεία (<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>).

3.3.4 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ – ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΙΖΩΝ

Η ύπαρξη του προστατευτικού στρώματος ριζών εξαρτάται από την επιλογή της μονωτικής μεμβράνης. Σημειώνεται ότι οι συνθετικές μεμβράνες, σε αντίθεση με τις οργανικές, δεν απαιτούν συνήθως τη στρώση ελέγχου ριζών. Η προστατευτική αυτή

στρώση κατασκευάζεται από υλικά με πυκνή δομή, τα οποία εμποδίζουν τη διείσδυση των ριζών των φυτών στο μονωτικό στρώμα.

Αν και το PVC χρησιμοποιείται συχνά ως φράγμα για τις ρίζες των φυτών, είναι καλό να αποφεύγεται καθώς αποτελεί ένα από τα υλικά που είναι επιβλαβή για το περιβάλλον. Συνεπώς, κατά το σχεδιασμό αυτής της στρώσης επιλέγονται άλλες μεμβράνες, οι οποίες είναι πιο «φιλικές προς το περιβάλλον» (Woolley & Kimmins , 2000). Αυτές, είναι δυνατόν, να αποτελούνται είτε από χημικούς αναστολείς των ριζών είτε από μηχανικούς φραγμούς. Ο πρώτος τύπος δύναται να επιλεγθεί κυρίως σε εκτατικού τύπου στέγες, καθώς το υπόστρωμα ανάπτυξης αυτών είναι λεπτό και οι ρίζες των φυτών είναι πιο ασθενείς συγκρινόμενες με αυτές ενός εντατικού τύπου πράσινης στέγης.

Τονίζεται ότι τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης ελέγχου ριζών εξαρτώνται από τη λειτουργία και τον σκοπό της πράσινης στέγης. Παρ' όλα αυτά, στον εντατικό τύπο, ο μελετητής πρέπει να καθορίσει τόσο το χημικό όσο και το μηχανικό φραγμό ριζών. Ένας κλασσικός μηχανικός φραγμός είναι η προσθήκη ενός φύλλου επένδυσης χαλκού.

Επισημαίνεται ότι η στρώση είναι πιθανό να αποφευχθεί σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί μη εντατικό ριζικό σύστημα. Γενικά όμως, αυτό δεν μπορεί να προβλεφθεί, διότι πολλές φορές στις πράσινες στέγες αλλάζει το είδος της καλλιέργειας που φιλοξενείται, είτε για λόγους βιωσιμότητας, είτε τυχαία.

Η αντιρριζική μεμβράνη είναι κατασκευασμένη από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HPDE), ή από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), ή από εύκαμπτη πολυολεφίνη (FPO) ή από EPDM (FLL guidelines, 2002).

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για την αξιολόγηση της καταλληλότητας της μεμβράνης ελέγχου ριζών είναι τα εξής:

- Πυκνότητα (kg/ m^3)
- Αντοχή σε εφελκυσμό (N/ mm^2)
- Δυνατή Επιμήκυνση μέχρι να σπάσει (%) (GRO, 2011)

Στην εικόνα 3.9 επισυνάπτεται μια μεμβράνη ελέγχου του ριζικού συστήματος και προστασίας από ηλεκτρονικά ελεγμένο πολυαιθυλένιο τύπου WFS 40 της ZinCO.



Εικόνα 3.9 Μεμβράνη ελέγχου του ριζικού συστήματος (Προέλευση: <http://www.zinco-greenroof.com>)

3.3.5 ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ Ή ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Το αποστραγγιστικό σύστημα επιτρέπει την ενιαία αποστράγγιση και τον αερισμό του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών, ενώ παράλληλα αποτελεί ισχυρή προστατευτική στρώση για τις υποκείμενες μεμβράνες. Πολλές φορές λειτουργεί και σα μικρή δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Το στρώμα αποστράγγισης είναι απαραίτητο για τις πράσινες στέγες προκειμένου να εκτρέπει τις μεγάλες ποσότητες των ομβρίων, οι οποίες δεν απορροφήθηκαν από το υπόστρωμα ανάπτυξης ή από τα φυτά και να τις μεταφέρει μέσω αγωγών είτε στο κεντρικό δίκτυο ομβρίων είτε σε κάποια δεξαμενή αποθήκευσης νερού για επαναχρησιμοποίηση. Στην περίπτωση που το βρόχινο νερό εκτρέπεται στο κεντρικό δίκτυο ομβρίων, πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό αυτού τα επιφανειακά νερά, αυτά που εισήλθαν στο στρώμα όσο και αυτά που μεταφέρονται από την οροφή. Η λειτουργία του αποστραγγιστικού στρώματος είναι πολύ σημαντική, διότι αν δεν επιτευχθεί η απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού, δημιουργείται πρόβλημα τόσο λόγω αύξησης του βάρους της στέγης, όσο και λόγω του πιθανού σαπίσματος του ριζικού συστήματος (Wingfield, 2005).

Το υλικό που χρησιμοποιείται σε αυτό το επίπεδο ποικίλει. Ένα σύστημα που ενσωματώνει ένα στρώμα από χαλίκια θεωρείται η πλέον φιλική προς το

περιβάλλον λύση. Παράλληλα, αποτελεί μια φθηνή πρόταση και συμβάλλει στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, εφόσον προσφέρει συνθήκες για την ανάπτυξη των ασπόνδυλων και των εντόμων (Dunnet & Kingsbury, 2004). Παρόλα αυτά, στις πράσινες στέγες τα φυσικά χαλίκια αποφεύγονται, διότι προσθέτουν επιπλέον βάρος στην κατασκευή και ταυτόχρονα δεν μπορούν να συγκρατήσουν διαλυμένα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη βλάστηση.

Στην αγορά έχει πλέον καθιερωθεί ένα εναλλακτικό και πιο ελαφρύ σύστημα αποστράγγισης. Αυτό αποτελείται από συνθετικό υλικό, το οποίο έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και μεταφοράς λόγω του χαμηλού βάρους του. Συνήθως, επιλέγεται υψηλής πυκνότητας ανακυκλωμένο πολυαιθυλένιο (HDPE), ενισχυμένο πλαστικό (ABS) ή ανακυκλωμένο πολυστυρένιο (recycled PS) με αμφίπλευρες εγκοιλώσεις και κενούς χώρους στους οποίους συσσωρεύεται και αποθηκεύεται το νερό. Ως εκ τούτου, η αποστραγγιστική μεμβράνη πρακτικά σχηματίζει κανάλια και κοιλάτες κάτω από το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών. Τα κανάλια παρέχουν την εκροή του πλεονάζοντος νερού για να προφυλαχθούν οι ρίζες των φυτών από τον κορεσμό, ενώ οι κοιλάτες εξυπηρετούν για την προσωρινή κράτηση επαρκούς νερού, ώστε σε περιόδους ξηρασίας να χρησιμοποιηθεί από τη βλάστηση. (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>). Η ικανότητα αποστράγγισης του συστήματος είναι αναγκαίο να αυξάνεται κοντά στις εξόδους αυτού και παράλληλα σε αυτά τα σημεία πρέπει να καθίσταται δυνατή η πρόσβαση για εποχιακό καθάρισμα για την αποφυγή φραγής αυτού. Στην εικόνα 3.10 φαίνεται ένα αποστραγγιστικό σύστημα με διηθητικό φύλλο, το οποίο δεν αποθηκεύει νερό, αλλά μόνο το εκτρέπει.



Εικόνα 3.10 Αποστραγγιστικό φύλλο με διηθητική μεμβράνη (Προέλευση: <http://www.nophadrain.nl/>)

Στην εικόνα 3.11 παρουσιάζεται ένα αποστραγγιστικό σύστημα από ανακυκλωμένο θερμοδιαμορφωμένο πολυαιθυλένιο (HDPE), βιολογικά αδρανές με αμφίπλευρες διάτρητες κωνικές προεξοχές για την τοποθέτηση σε εκτατικούς ή ημιεντατικούς τύπους πράσινων στεγών με σκοπό την προστασία οριζόντιων επιφανειών και τη διευκόλυνση της αποστράγγισης των νερών.



Εικόνα 3.11 Αποστραγγιστικό φύλλο με οπές (Προέλευση: <http://www.zinco-greenroof.com>)

Κατά κανόνα, οι πράσινες στέγες, εκτός από αυτές που αποτελούνται από ανεστραμμένα συστήματα, περιλαμβάνουν και μια μεμβράνη υγρασίας απευθείας πάνω από το προστατευτικό στρώμα που ελέγχει και φράζει τις ρίζες των φυτών, επιτρέποντας τη διάχυση της υγρασίας και την ύπαρξη θρεπτικών στοιχείων στο στρώμα αποστράγγισης (Alumasc Exterior Building Products, 2004).

Τονίζεται ότι για την επιτυχή εξασφάλιση της απορροής των υδάτων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός κατάλληλης κλίσης ανάλογης με τον τύπο της πράσινης στέγης. Για παράδειγμα, στις επίπεδες προτιμάται κλίση 2°. Στην περίπτωση του εκτατικού τύπου πράσινης στέγης, η μέγιστη γωνία που συνίσταται για την εγκατάσταση του είναι 30°.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του αποστραγγιστικού συστήματος είναι τα εξής:

- Χωρητικότητα αποθήκευσης νερού (L / m^2)
- Όγκος πλήρωσης (L / m^2)
- Παροχή ($L / s / m^2$)
- Βάρος (kg / m^2)
- Αντοχή σε θλίψη (kN / m^2) (GRO, 2011)

Τυπικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά

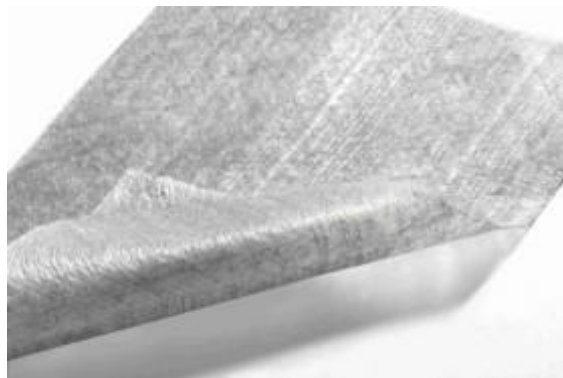
- Ικανότητα αποστράγγισης νερού από 0,5- 8,1 $l/m^2 \times s$
- Όγκος Πλήρωσης από 10 ως 29 L / m^2
- Ικανότητα αποθήκευσης Νερού $> 3 L / m^2$ (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

3.3.6 ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ

Ο σκοπός αυτού του φύλλου είναι να αποτρέπει την είσοδο των λεπτόκοκκων σωματιδίων στο αποστραγγιστικό στρώμα. Κι αυτό γιατί τα σωματίδια που αποσπώνται από το υπόστρωμα ανάπτυξης μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ικανότητας αποστράγγισης ή ακόμη και φράξιμο όλου του συστήματος (Alumasc Exterior Building Products 2004). Το διηθητικό φύλλο είναι συνήθως γεωύφασμα και επιτρέπει την ομαλή ροή των υδάτων και του αέρα, ενώ παράλληλα προστατεύει το αποστραγγιστικό στρώμα. Υφάσματα με κρυσταλλικές ίνες ή από πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό (Wingfield, 2005).

Σημειώνεται ότι το στρώμα φίλτρου τυπικά θα πρέπει να τοποθετηθεί παράλληλα με το στρώμα αποστράγγισης και η απόδοση αυτού θα εξαρτάται από την ποιότητα της κατασκευής κατά την εγκατάσταση. Ακολούθως, στην εικόνα παρουσιάζεται ένα διηθητικό φύλλο από προπυλένιο τύπου mat 105 της Optigreen, το οποίο

κατασκευάζεται από ένα ανθεκτικό στο σχίσιμο ύφασμα ενώ παράλληλα έχει χαμηλό βάρος και υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό.



Εικόνα 3.12 Διηθητικό Φύλλο (Προέλευση: <http://www.optigreen.co.uk/>)

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του διηθητικού φύλλου είναι τα εξής:

- Βάρος (kg/ m^2)
- Αντοχή σε εφελκυσμό (kN/ m^2)
- Ταχύτητα ροής κάτω από συγκεκριμένες υδραυλικές πιέσεις (L / s/ m^2)
- Ενεργό μέγεθος πόρων (m^2)
- Αντοχή στη διείδυση του ριζικού συστήματος (N) (GRO, 2011)

3.3.7 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΤΩΝ

Το εδαφικό μείγμα έχει καθοριστικό ρόλο, τόσο στην κατασκευή της πράσινης στέγης, όσο και στη σωστή λειτουργία αυτής, καθώς η σωστή επιλογή του μίγματος προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής των φυτών που αναπτύσσονται σε αυτό (Grant et al 2003). Το υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών είναι αναγκαίο να εξασφαλίζει επαρκή αερισμό του ριζικού συστήματος των φυτών ακόμη και σε συνθήκες κορεσμού.

Παράλληλα, πρέπει να έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, μικρή συμπιεστότητα για να διευκολύνει την αποστράγγιση των υδάτων, και είναι αναγκαίο να αποτελεί σταθερή βάση για τη βλάστηση που αναπτύσσεται σε αυτό, προκειμένου τα φυτά να είναι ανθεκτικά στους ισχυρούς ανέμους και η διάβρωση να είναι πρακτικά μηδενική (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

Επιπλέον, το υπόστρωμα ανάπτυξης απαιτείται να είναι απαλλαγμένο από σπόρους ζιζανίων και ασθένειες. Ένα άλλο απαραίτητο χαρακτηριστικό του είναι το μικρό βάρος που πρέπει να έχει (μετρημένο σε κατάσταση κορεσμού). Σημειώνεται ότι τα φυσικά εδάφη είναι βαριά και για αυτό το λόγο δεν προτιμώνται στις πράσινες στέγες. Αντίθετα, χρησιμοποιούνται κυρίως ελαφρά εδαφικά μείγματα, τα οποία αποτελούνται από υψηλής ποιότητας λίπασμα (compost) και άλλα ανακυκλωμένα υλικά (Hendriks and Hooker, 1994). Για παράδειγμα, το πιο απλό μείγμα μπορεί να περιλαμβάνει ίσες ποσότητες από επιφανειακό χώμα, λίπασμα και περλίτη. Πιο σύνθετα μείγματα αποτελούνται από χούμο, άργιλο, ελαφρόπετρα, λάβα και άλλα ανακυκλωμένα υλικά.

Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια στοιχεία για ορισμένα από τα παραπάνω συστατικά του υποστρώματος:

Χονδρόκοκκη άμμος: Λόγω του μεγέθους της είναι καλό να αποφεύγεται η χρήση της στο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών. Σε αντίθεση με το χαλίκι, η απόσταση μεταξύ των σωματιδίων της άμμου δεν επιτρέπει στο πλεόνασμα των υδάτων να περάσει, με αποτέλεσμα να είναι επιρρεπής στο φράξιμο της αποστραγγιστικής μεμβράνης. Παρά το γεγονός αυτό, η χονδρόκοκκη άμμος συνίσταται ως δευτερεύον υλικό ανάμιξης (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Θρυμματισμένα τούβλα: Αποτελούν συνιστώμενη επιλογή λόγω του ασβέστη που περιέχουν. Προσοχή πρέπει να δοθεί στα ποσοστά του τσιμέντου και του κονιάματος που αυτά περιέχουν καθώς μεγάλες ποσότητες αυτών των υλικών οδηγούν σε υψηλά επίπεδα pH (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Διογκωμένη άργιλος (LECA): Από τα πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στο υπόστρωμα ανάπτυξης. Αν και αποτελούν σχετικά ακριβή λύση, είναι

κατάλληλη για το στρώμα αυτό λόγω του μικρού βάρους της και της ικανότητας της να διατηρεί την υγρασία (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Περλίτης: Σχηματίζεται με τη θέρμανση και τη διόγκωση των ορυκτών. Αποτέλεσμα των διαδικασιών αυτών είναι ο σχηματισμός ελαφριών σωματιδίων με ισχυρούς δεσμούς. Χρησιμοποιείται συνήθως ως συστατικό για το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών στους εκτατικούς τύπους πράσινης στέγης. Δεν αποτελεί ευνοϊκή επιλογή υλικού, καθώς απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας κατά τη διάρκεια της παραγωγής του (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Λιπάσματα βραδείας αποδέσμευσης: Εκεί που η βλάστηση παρουσιάζει ποικιλομορφία, το λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης κρίνεται αναγκαίο. Αυτό εφαρμόζεται μια φορά το χρόνο ώστε να εξασφαλίζει την καλή κατάσταση των φυτών. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που έχει επιλεγεί τύπος βλάστησης sedum, όπου το απαιτούμενο πάχος του υποστρώματος είναι μικρό και η συντήρηση ελάχιστη, η χρήση αυτών των λιπασμάτων δεν κρίνεται αναγκαία (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Λεπτά κομμάτια από πέτρα ή κορμό δέντρου: Είναι αποτελεσματικά στον έλεγχο των ζιζανίων και στη διατήρηση της υγρασίας (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Τα παραπάνω υλικά έχουν σχετικά μεγάλο πορώδες με αποτέλεσμα να είναι ικανά για αποθήκευση νερού και θρεπτικών στοιχείων. Συνεπώς, ενισχύουν με τις θρεπτικές ουσίες την ανάπτυξη των φυτών, ενώ παράλληλα συγκρατούν μεγάλο ποσοστό των ρύπων που περιέχουν τα όμβρια. Τέλος, τα μίγματα αυτά αποτελούν ενδιαυτήματα διαφόρων ασπόνδυλων και εντόμων, γεγονός πολύ σημαντικό για την ενίσχυση της βιοποικιλότητας στις αστικές περιοχές (Dunnet & Kingsbury, 2004).

Στο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών κρίνεται καλό να περιέχεται ένα ποσοστό των οργανικών υλικών, όπως τυρφόχωμα ή φλοιός δέντρου υπό μορφή λιπάσματος, ώστε να καθίσταται δυνατή η διατήρηση και η απελευθέρωση της υγρασίας όποτε ενδείκνυται. Ωστόσο, το ποσοστό αυτών δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% του συνολικού υποστρώματος, γιατί σε αυτή την περίπτωση η διάρκεια ζωής των φυτών θα είναι μικρή (Solomon, 2003).

Κατά την εφαρμογή των διαφορετικών συστημάτων υποδομής πράσινων στεγών δεν χρησιμοποιείται κηπαίο χώμα. Το κηπαίο χώμα είναι ανομοιογενές και λόγω της μεγάλης του πυκνότητας επιβαρύνει το φορέα με μεγάλα φορτία. Το χώμα δεν ανανεώνεται, συμπυκνώνεται και απαιτεί συνεχή συντήρηση, αερισμό και συνεχή εμπλουτισμό με θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών. Το ριζικό σύστημα των φυτών δεν αερίζεται λόγω συμπύκνωσης του χώματος με αποτέλεσμα την δυσχερή ανάπτυξη και την τελική ασφυξία του φυτικού υλικού. Η σταδιακή καθοδική κίνηση των μικρότερων κόκκων του χώματος προκαλεί τη συγκέντρωσή τους στο επίπεδο του διηθητικού φύλλου (γεωυφάσματος), τη φραγή των πόρων του και την παύση της σωστής λειτουργίας του (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

Η χρήση των υλικών που βρίσκονται στον υφιστάμενο χώρο όπως είναι η άμμος, τα μπάζα και τα θρυμματισμένα χαλίκια προτιμάται. Τονίζεται ότι με αυτή την ανακύκλωση των υλικών, επωφελείται το περιβάλλον και οδηγούμαστε σε μια αειφορία, αφού με αυτό τον τρόπο μειώνεται η κατασκευαστική δραστηριότητα για την παραγωγή νέων υλικών και η απόρριψη των ήδη υπαρχόντων υλικών.

Στην εικόνα 3.13 φαίνεται μια εγκάρσια τομή του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης.



Εικόνα 3.13 Εγκάρσια τομή πράσινης στέγης στο Kentucky (Προέλευση: City of Indianapolis, 1995)

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται κάποιες ιδιότητες του υποστρώματος ανάπτυξης σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της φυτοτεχνικής μελέτης, κατασκευής και συντήρησης των φυτεμένων δωμάτων και στεγών

Φυσικές και χημικές ιδιότητες ανάλογα με τον τύπο της πράσινης στέγης

- pH: 6,5-8,5
- Περιεκτικότητα σε άλατα: <3,5 g/ L
- Περιεκτικότητα σε οργανική ουσία: ≤ 10 % κατά μάζα
- Συνολικός όγκος πόρων: 60-80 % κατ' όγκον
- Μέγιστη Υδατοϊκανότητα: 20-50 % κατ' όγκον
- Παρουσία Αργίλου: <7 % κατά μάζα
- Κορεσμένο Ειδικό βάρος: < 1.200 kg/ m³ (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

Σύμφωνα με τις οδηγίες της οργάνωσης FLL έχουν προταθεί κάποια ελάχιστα και μέγιστα όρια που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1 που επισυνάπτεται παρακάτω:

Πίνακας 3.1 Ενδεικτικές τιμές για διάφορες παραμέτρους και ιδιότητες για εκτατικούς και εντατικούς τύπους πράσινης στέγης (FLL, 2002)

Ιδιότητες - Παράμετροι	Ενδεικτικές τιμές	
	Εκτατικός	Εντατικός
Τύπος πράσινης στέγης	Εκτατικός	Εντατικός
Πάχος	Ελάχιστο: 80mm	≥ 200 mm
Πορώδες	-	-
Μέγεθος Πόρων	-	
d ≤ 0,063 mm	≤ 15%(κατά μάζα)	≤ 20%(κατά μάζα)
d ≥ 4 mm	≤ 50 %(κατά μάζα)	≤ 40%(κατά μάζα)
Μέγιστη εδαφική υγρασία	≥ 25% ≤ 65%(κατ' όγκον)	≥ 45%%(κατ' όγκον)
Ποσοστό αέρα σε κατάσταση κορεσμού	≥ 10%(κατ' όγκον)	≥ 10%(κατ' όγκον)
Διαπερατότητα	0,6 – 70 mm / min	0,3 – 30 mm / min
pH	6 – 8,5	6 – 8,5
Ποσοστό σε οργανικά	≤ 65 g / l	≤ 90 g / l

Σημειώνεται ότι όσον αφορά στο ελάχιστο πάχος στον εκτατικό τύπο, αυτό μπορεί να μειωθεί κατά 20 mm όταν χρησιμοποιούνται «προκαλλιεργημένα φυτικά καλύμματα».

Στον πίνακα 3.2 που ακολουθεί παρατίθενται ενδεικτικές τιμές του πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών ανάλογα με τη βλάστηση που επικρατεί και τον τύπο της πράσινης στέγης σύμφωνα με τις οδηγίες της FLL.

Πίνακας 3.2 Είδη βλάστησης και ενδεικτικές τιμές πάχους του εδαφικού υποστρώματος
(FLL, 2002)

	Τύπος Πράσινης Στέγης	Βλάστηση	Πάχος(mm)	Επεξήγηση
Τύπος Πράσινης στέγης και βλάστηση	Εκτατικός	Moss - sedum	40 – 80	Moss: βρύα herbaceous: ποώδη grass: γρασίδι
		Sedum – moss – herbaceous – grass plants	60 – 100	
		Sedum– herbaceous – grass plants	100 - 150	
		grass– herbaceous plants	150 – 200	
	Ημιεντατικός	grass– herbaceous plants	120 - 350	Coppices: Θαμνώδεις εκτάσεις(πρεμνοφυή) Shrubs: θάμνοι Lawn: χλοοτάπητας
		Wild shrubs, coppices	120 - 500	
		Coppices and shrubs	150 - 500	
		coppices	200 - 1000	
	Εντατικός	Lawn	150 – 350	Coppices: Θαμνώδεις εκτάσεις(πρεμνοφυή) Shrubs: θάμνοι Lawn: χλοοτάπητας
		Low - lying shrubs and coppices	150 – 500	
		Medium – height shrubs and coppices	200 – 500	
		Tall shrubs and coppices	350 – 700	Bushes: θάμνοι trees :δέντρα
		Large bushes and small trees	600 – 1250	
Medium size trees		1000 – 2000		
Large trees		1500 - 2000		

3.3.8 ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Μεγάλο εύρος φυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το στρώμα της πράσινης στέγης. Η επιλογή της φυτοκάλυψης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- ο επιλεγμένος τύπος της πράσινης στέγης (εντατικός, εκτατικός ή ημιεντατικός)
- το κλίμα της περιοχής
- η προβλεπόμενη χρήση της
- η περίοδος ανθοφορίας των επιλεγμένων φυτών
- ο τύπος χώματος που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυτών
- οι ανάγκες για άρδευση
- το αισθητικό αποτέλεσμα που ζητείται να επιτευχθεί

Συνεπώς, η έκθεση της πράσινης στέγης στον ήλιο και η αντίστοιχη σκίαση που δημιουργείται, η θερμοκρασία, η υγρασία και η βροχόπτωση αποτελούν σημαντικές μεταβλητές που πρέπει να συμπεριληφθούν στη μελέτη σχεδιασμού για την επιτυχή φύτευση (GRO, 2011).

Το βρόχινο νερό που πέφτει στη στέγη μπορεί είτε να καταλάβει το χώρο των κενών του υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών είτε να απορροφηθεί από κάποια υλικά, τα οποία έχουν απορροφητική ικανότητα. Μια άλλη δυνατότητα είναι να ληφθεί από τα φυτά και στη συνέχεια να αποθηκευτεί από τους ιστούς αυτών ή μέσω της διαπνοής να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα. Επίσης, μικρή ποσότητα του βρόχινου νερού είναι δυνατό να καθίσει στα φύλλα της βλάστησης και από εκεί εντέλει να εξατμιστεί. Επομένως, η επιλογή των φυτών επιδρά στην ποσότητα του νερού που απορρέει και εξαρτάται από την ικανότητα αυτών για κατακράτηση και για συγκράτηση του νερού καθώς και από τη διαπνοή αυτών.

Σημειώνεται ότι για τις πράσινες στέγες που κατασκευάζονται στο Μεσογειακό χώρο, τα τοπικά φυτά που επιλέγονται είναι αναγκαίο να έχουν αυξημένη αντοχή στη ζέστη και στην ξηρασία. Με άλλα λόγια επιλέγονται φυτά με μικρή ανάγκη για νερό, καθώς το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται για τα θερμά και ξηρά καλοκαίρια και τους ήπιους χειμώνες χωρίς μεγάλο ποσοστό βροχοπτώσεων.

Τα φυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τις διεργασίες φωτοσύνθεσης και διαπνοής:

- C3 plants: περισσότερα φυτά
- C4 plants: γρασίδι
- CAM (Crassulacean acid metabolism): παχύφυτα, κάκτοι, sedum

Συγκεκριμένα, τα φυτά κατηγορίας C3 αναπτύσσονται γρήγορα, αλλά είναι επιρρεπή στη ζέστη και την ξηρασία. Τα φυτά κατηγορίας C4, αν και δεν επηρεάζονται τόσο από τη θερμοκρασία, έχουν βραδύτερη ανάπτυξη από τα C3 (Larcher, 2003). Και οι δύο αυτές κατηγορίες χρειάζονται περισσότερο νερό για την κάλυψη των αναγκών τους συγκριτικά με τα CAM, τα οποία είναι ανθεκτικά σε συνθήκες λειψυδρίας. Αυτό συμβαίνει γιατί τα τελευταία, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα φυτά, όταν εκτεθούν σε συνθήκες ξηρασίας, ανοίγουν τα στόματα τους μόνο τη νύχτα για να πραγματοποιήσουν τη διεργασία της φωτοσύνθεσης, όπου οι απώλειες λόγω εξάτμισης είναι μικρότερες. Επιπλέον, τα φυτά CAM έχουν χαρακτηριστικά όπως είναι η αντίσταση κατά των εντόμων, το χαμηλό κόστος συντήρησης, η μεγάλη διάρκεια ζωής και η αισθητική, γεγονότα που τα καθιστούν κατάλληλα για τις πράσινες στέγες (Gravatt & Martin, 1992).

Ορισμένα μεσογειακά είδη που καλλιεργούνται και είναι κατάλληλα για φυτοκάλυψη είναι η πικροδάφνη, το βιβούρνο, το γεράνι, το γαρίφαλο και άλλα βολβώδη. Σημειώνεται ότι τα ενδημικά φυτά που ευδοκιμούν σε υψηλό υψόμετρο αποτελούν και αυτά με τη σειρά τους μια ιδανική λύση για να καλύψουν τις πράσινες στέγες λόγω αυτής τους της ιδιότητας.

Ένας άλλος παράγοντας που διαδραματίζει ρόλο στην επιλογή των φυτών είναι το τελικό επιθυμητό ύψος που περιορίζεται από την εκάστοτε νομοθεσία.

Γενικά, στους εκτατικούς τύπους πράσινης στέγης επιλέγονται φυτά που χαρακτηρίζονται από μικρό ριζικό σύστημα, από αναγεννητικές ιδιότητες και από μεγάλη αντίσταση σε αντίξοες για την ανάπτυξη τους καιρικές συνθήκες (άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ξηρασία, παγετός, ισχυροί άνεμοι). Συνήθως, προτιμώνται φυτά με πρακτικά μηδενικές απαιτήσεις όσον αφορά στη συντήρηση και στην άρδευση. Σε αντίθεση, ο τύπος της εντατικής πράσινης στέγης είναι ικανός να δεχθεί μεγαλύτερη ποικιλία βλάστησης λόγω του μεγαλύτερου δυνατού πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης (Φουρτή, 2008).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ορισμένες προδιαγραφές για συγκεκριμένα φυτά από την FLL:

Πίνακας 3.3 Κανονισμοί ανάλογα με τον τύπο της βλάστησης (FLL, 2002)

Βλάστηση	Κώδικας	Επεξήγηση
Sowing seed	DIN 18917	-
Sedum	DIN 18916	“ Quality specifications in respect of shrubs
Shrubs	DIN 18916	“ Quality specifications in respect of shrubs
Coppices	DIN 18916	“ Quality conditions governing tree nursery plants”
Lawn Turf	DIN 18917	-

Στην περίπτωση που ο κύριος στόχος της πράσινης στέγης είναι η μείωση της απορροής και λαμβάνοντας υπόψη ότι η απορροή δίνεται από την παρακάτω εξίσωση αντιλαμβάνεται κανείς ότι η επιλογή των κατάλληλων φυτών διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο.

Απορροή = Κατακρήμνιση – κατακράτηση νερού – συγκράτηση νερού – διαπνοή φυτών – εξάτμιση νερού από έδαφος

Διάφορες μελέτες έχουν καταλήξει στα εξής συμπεράσματα:

- Τα χαμηλού ύψους αναπτυσσόμενα φυτά (mat-forming plants) συγκρατούν λιγότερη ποσότητα νερού σε σχέση με τα ψηλότερα, καθώς η εκτιθέμενη επιφάνεια των τελευταίων είναι μεγαλύτερη (Nagasea, Dunnett, 2012).
- Τα φυτά με πυκνές ινώδεις ρίζες μειώνουν το πορώδες του υποστρώματος ανάπτυξης με αποτέλεσμα την αύξηση της απορροής (MacInvor and Lundholm, 2011).
- Τα φυτά που λαμβάνουν περισσότερο νερό από το υπόστρωμα ανάπτυξης βοηθούν στην ύπαρξη περισσότερου αποθηκευτικού χώρου σε αυτό και συνεπώς μικρότερη απορροή (Nagasea, Dunnett, 2012).
- Η ποικιλία των φυτών που θα χρησιμοποιηθεί στο στρώμα της βλάστησης είναι δυνατό να συμβάλλει στη μείωση της απορροής. Αυτό επιτυγχάνεται με την ομαλή συνύπαρξη τους (διαφορετικά ριζικά συστήματα και άλλες ανάγκες σε νερό από το υπόστρωμα ανάπτυξης), η οποία μπορεί να επιτρέψει την καλύτερη χωρική και χρονική εκμετάλλευση του υποστρώματος από τα υπάρχοντα φυτά (Lamont and Bergl, 1991).
- Το γρασίδι συγκριτικά με τους θάμνους και τα sedums μειώνει την απορροή (Nagasea, Dunnett, 2012).
- Τα πιο ψηλά φυτά, με μεγαλύτερη διάμετρο, βλαστούς και ρίζες προτιμώνται σε περιπτώσεις όπου ο κύριος στόχος της πράσινης στέγης είναι η μείωση την απορροής (Nagasea, Dunnett, 2012).

Παρακάτω δίνονται ορισμένοι τύποι φυτών, που ενώ δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, αποτελούν πολύ καλές επιλογές για την κάλυψη του στρώματος βλάστησης (Δάρρας, 2008):

Γκαζάνια: Η γκαζάνια είναι φυτό πολυετές, ποώδες, αειθαλές, χαμηλής βλάστησης 15-20 cm. Τα φύλλα της είναι λογχοειδή, χνουδωτά, στενόμακρα, σκούρα πράσινα στην επάνω επιφάνεια και αργυρόχρωμα στην κάτω επιφάνεια. Έχει πλούσια, εντυπωσιακή και παρατεταμένη ανθοφορία. Όσον αφορά στα άνθη της, αυτά είναι διαφόρων χρωματισμών με τα συνηθέστερα αυτών να είναι κίτρινο, πορτοκαλί, ρόδινο και λευκό. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γκαζάνιας είναι το κλείσιμο του άνθους κατά την διάρκεια της νύχτας ή νεφελώδη καιρού (Δάρρας, 2008). Είναι φυτό χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά στο έδαφος, αλλά προτιμά προστατευμένες θέσεις από τους ισχυρούς ανέμους και το κρύο. Σημειώνεται ότι ευδοκμεί σε όλα τα εδάφη με καλή αποστράγγιση και κατά προτίμηση σε ηλιόλουστες θέσεις. Απαιτεί ήπιο κλίμα και αντέχει σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Λίππια: Η λίππια είναι φυτό ποώδες, πολυετές, με βλαστούς έρποντες, οι οποίοι ριζώνουν στους κόμπους. Τα φύλλα της είναι αντίθετης διάταξης ή κατά τριμερείς σπονδύλους, σπαθοειδή ή λογχοειδή, ακέραια, στενά και οδοντωτά προς την κορυφή. Σχηματίζει ωραίο, χαμηλό, ανθισμένο χλοοτάπητα σε αποχρώσεις του λευκού, ροζ ή ιόχρου από την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο (Δάρρας, 2008). Σημειώνεται ότι αντέχει στην ξηρασία. Όσον αφορά στη συντήρηση, δεν απαιτεί συχνά κουρέματα. Είναι κατάλληλη για φτωχά εδάφη, ηλιόλουστες περιοχές και μέρη εκτεθειμένα στους θαλασσινούς ανέμους. Πολλές φορές χρησιμοποιείται για στερέωση πρανών. Το μειονέκτημα της λίππιας είναι η απουσία ανοχής της στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Διχόντρα: Είναι φυτό πολυετές της θερμής περιόδου με μικρά, στρογγυλά και πράσινα φύλλα. Έχει χαμηλή ανάπτυξη, σχηματίζοντας πυκνό χλοοτάπητα πολύ ωραίας εμφάνισης. Ένα πλεονέκτημα της είναι ότι αντέχει στη σκιά και αναπτύσσεται σε ποικιλία εδαφών εκτός από τα βαριά αργιλώδη και πηλώδη. Σημειώνεται επίσης ότι δεν χρειάζεται σχεδόν καθόλου κούρεμα όταν αναπτύσσεται σε φτωχά και ξηρά εδάφη. Αν και ευδοκμεί στα θερμά κλίματα, αντέχει και σε θερμοκρασίες μέχρι -5°C . Το μειονέκτημα της είναι ότι δεν αντέχει

στην καταπόνηση και απαιτεί συχνό πότισμα κατά τις περιόδους ξηρασίας (Δάρρας, 2008).

Βίγκα: Είναι φυτό ποώδες πολυετές, με ζυγηρή βλάστηση και βλαστούς μακριούς με φύλλα ωραία, μεγάλα, λεία και βαθυπράσινα. Την άνοιξη το φυτό σχηματίζει ωραία μεγάλα άνθη στην απόχρωση του κυανού. Ευδοκιμεί σε δροσερά και ημισκιερά εδάφη οποιουδήποτε τύπου. Απαιτεί κλάδεμα στις αρχές της άνοιξης έτσι ώστε να δώσει ζυηρότερη βλάστηση (Δάρρας, 2008).

Χοντρό μπούζι: Έχει σαρκώδη και γυαλιστερά πράσινα φύλλα, τριγωνικού σχήματος, με μήκος από 5 έως 8 cm. Τα άνθη είναι μεγάλα, ερυθρού - μωβ χρώματος, διαμέτρου 8 έως 12 cm, απέταλα, με τους περιφερειακούς στήμονες να είναι άγονοι και να έχουν μετατραπεί σε στημονώδη πεταλοειδή δίνοντας την εντύπωση στεφάνης (Δάρρας, 2008). Είναι φυτό εύκολης καλλιέργειας, γρήγορης ανάπτυξης και με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Αντέχει στην ξηρασία, στα άλατα του εδάφους, στην αλμύρα της θάλασσας καθώς και σε θερμοκρασίες μέχρι - 4°C. Η μόνη απαίτηση είναι ότι πρέπει να τοποθετείται σε ζεστές και ηλιόλουστες θέσεις (Δάρρας, 2008).

Καρδιόφυλλο: Είναι φυτό που δημιουργεί πολλούς χαμηλούς βλαστούς, που απλώνουν ή κρέμονται, χωρίς να ριζώνουν συνήθως. Δημιουργούν χλοστάπητα πυκνό, χαμηλού ύψους κυμαινόμενου από 10 έως 15 cm. Τα φύλλα του είναι αντίθετης διάταξης, ωοειδή – καρδιοειδή, χρώματος ανοιχτού πράσινου. Τα άνθη που σχηματίζει είναι μεμονωμένα, λίγα, μικρά και ερυθροϊώδη (Δάρρας, 2008). Είναι φυτό που ευδοκιμεί σε όλους τους τύπους εδαφών, σε ζεστές περιοχές με άφθονο ήλιο αλλά και σε παραθαλάσσιες. Καλύπτει σχετικά εύκολα επιφάνειες του εδάφους για αυτό χρησιμοποιείται και στις πράσινες στέγες.

Σάλβια: Είναι ετήσιο αυτοφυές φυτό ύψους από 20 έως 40 cm και πλάτους λίγο μικρότερου του ύψους του. Τα φύλλα του είναι έμμισχα, ωοειδή, λεπτοφυώς

πριονωτά και χρώματος ωχροπράσινου. Τα άνθη του είναι ρόδινα έως βαθυπόρφυρα, ανά 4 – 6, κατά σπονδύλους, που σχηματίζουν σταχυόμορφο βότρυ. Ανθίζει από τον Μάιο και για όλο το καλοκαίρι(Δάρρας, 2008). Αναπτύσσεται σε όλα σχεδόν τα εδάφη, αλλά ευδοκιμεί σε ηλιόλουστα και καλά αποστραγγισμένα. Δεν αναπτύσσεται ικανοποιητικά και δεν ανθοφορεί επιβλητικά σε σκιερές ή ημισκιερές τοποθεσίες. Σημειώνεται ότι φυτεύεται ομαδικά σε εκτενείς πράσινες στέγες.

Λεβάντα: Είναι χαμηλό αειθαλές και αρωματικό φυτό. Έχει άνθη κατά έξι με δέκα ανθικούς σπονδύλους, σε ταξιανθία στάχυ, πολύ αρωματικά, από τα οποία παράγεται το άρωμα «Lavender». Η λεβάντα είναι γνωστή και ως «Η Βασίλισσα των Βοτάνων» . Τα άνθη της έχουν μήκος από 6 έως 12 cm, χρώμα κυανό και σπανιότερα λευκό ή ρόδινο. Ανθίζει από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο. Τα ανθικά στελέχη είναι άφυλλα και έχουν μήκος περίπου 40 με 50 cm. Είναι κατεξοχήν φυτό για αποξήρανση (Δάρρας, 2008). Αναπτύσσεται σε όλα σχεδόν τα εδάφη, αλλά ευδοκιμεί σε πλήρως ηλιαζόμενα και καλά αποστραγγισμένα. Σημειώνεται ότι είναι από τα φυτά που καλλιεργούνται σε συνεκτικά – βαριά εδάφη, δημιουργούν μαλακούς βλαστούς που δημιουργούν προβλήματα ως προς την αντοχή τους στο ύψος. Επιπλέον, δεν αντέχει σε συνθήκες ολοσχερούς ξηρασίας Παρόλα αυτά αντέχει τόσο στις χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι- 20°C) όσο και στους ισχυρούς ανέμους. Τέλος, δεν ευδοκιμεί σε εδάφη με υψηλή υγρασία, ενώ είναι ανθεκτική στην έλλειψη νερού (Δάρρας, 2008).

Οξαλίσ: Πολυετής πόα με πράσινα φύλλα και φούξια άνθη το καλοκαίρι. Χαμηλές ριζωματώδεις, ετήσιες και πολυετής πόες με σύνθετα φύλλα(τρίφυλλα). Καλλιεργούνται άλλοτε για το διακοσμητικό φύλλωμα τους και άλλοτε για την πλούσια ανθοφορία τους (Δάρρας, 2008). Αναπτύσσονται σε ημισκιαζόμενες και ηλιόλουστες θέσεις σε ελαφρά προς μέτρια υγρά εδάφη. Φυτεύονται σε ομάδες για εδαφοκάλυψη, σε βραχόκηπους και γλάστρες. Απαιτείται να τοποθετείται σε περιοχές με φως και δροσιά όλο το χρόνο. Παράλληλα, κατά την περίοδο της

ανάπτυξης, θέλει εβδομαδιαίες λιπάνσεις και όχι πολύ πότισμα, εκτός αν οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι πολύ υψηλές (Δάρρας, 2008).

3.3.9 ΑΡΔΕΥΣΗ

Η ποσότητα του νερού και η συχνότητα άρδευσης εξαρτάται από τις υδατικές ανάγκες των φυτών, τη βροχόπτωση και την ποσότητα νερού που κατακρατείται από το σύστημα υποδομής (υπόστρωμα ανάπτυξης βλάστησης και αποστραγγιστικό στρώμα).

Για να είναι δυνατή η συστηματική άρδευση των φυτών, όπου αυτή απαιτείται, με την καλύτερη δυνατή απόδοση και το μικρότερο κόστος, αυτή προβλέπεται να γίνεται αυτόματα, μέσω μονίμου αρδευτικού δικτύου. Ο σχεδιασμός του δικτύου άρδευσης λαμβάνει υπόψη τις υδατικές ανάγκες των φυτών, την παροχή και την πίεση της πηγής νερού, τη δυνατότητα τοποθέτησης δεξαμενής νερού κλπ. Το δίκτυο περιλαμβάνει συνήθως μια πηγή νερού, μια δεξαμενή νερού, μια αντλία, έναν προγραμματιστή άρδευσης, αγωγούς μεταφοράς (κεντρικός αγωγός και λοιποί αγωγοί) και ένα φρεάτιο με τον εξοπλισμό του (ηλεκτροβάνες κλπ). Σημειώνεται ότι το αρδευτικό δίκτυο χωρίζεται σε ανεξάρτητα τμήματα, και καθένα από αυτά ελέγχεται από μία βάνα ελέγχου άρδευσης για να μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα από τα υπόλοιπα (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

Στα μεσογειακά κλίματα, η άρδευση είναι απαραίτητη για όλους τους τύπους πράσινων στεγών, καθώς σε αυτές τις περιοχές το υδατικό ισοζύγιο είναι συνήθως αρνητικό και επικρατεί ξηρασία κατά τους θερινούς μήνες. Σε εκείνη την περίοδο, η εξατμοδιαπνοή είναι μεγάλη και τα φυτά καλύπτουν κατά κύριο λόγο τις ανάγκες τους μέσω της υγρασίας που έχει αποθηκευτεί στο υπόστρωμα ανάπτυξης της βλάστησης και μέσω του αρδευτικού δικτύου. Στην ιδιαίτερη περίπτωση που χρησιμοποιούνται μεσογειακά φυτά, το σύστημα υποδομής πρέπει να έχει μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα νερού και να διασφαλίζει καλή αποστράγγιση ώστε να πληρούνται οι συνθήκες ανάπτυξης αυτών (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

3.4 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η συντήρηση μιας πράσινης στέγης θεωρείται ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Αφορά τόσο στη μονωτική μεμβράνη (έλεγχος βλάβης) όσο και στην περιποίηση της βλάστησης (άρδευση, κλάδεμα, μεταφύτευση). Ο προγραμματισμός αυτής πρέπει να εξεταστεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, για να εξασφαλιστεί η σωστή συντήρηση, είναι δόκιμο η εφαρμογή της να γίνει από την ίδια εταιρεία, που πραγματοποίησε και την κατασκευή της πράσινης στέγης, ενώ παράλληλα τα έξοδα αυτής για τα τρία πρώτα χρόνια να συμπεριληφθούν στον προϋπολογισμό του έργου (Peck, Kuhn, 2003).

Όλες οι στέγες χρειάζονται έστω και ελάχιστη συντήρηση. Στα εμπορικά κτίρια υπάρχει η απαίτηση να γίνονται έλεγχοι στη στέγη και στην υδρορροή δύο φορές το χρόνο. Σε γενικές γραμμές, η απαιτούμενη συντήρηση εξαρτάται από το επιθυμητό αποτέλεσμα. Δύναται να κυμανθεί από εβδομαδιαίους ελέγχους που λαμβάνουν χώρα στις εντατικές πράσινες στέγες, κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, έως τριμήνου ή εξαμήνου που πραγματοποιούνται επί το πλείστον στους εκτατικούς τύπους. Με άλλα λόγια, λόγω του πιο σύνθετου σχεδιασμού και της μεγαλύτερης ποικιλομορφίας στη βλάστηση οι εντατικού τύπου πράσινες στέγες συνήθως απαιτούν πιο συχνούς ελέγχους από αυτές που έχουν εκτατικό χαρακτήρα (Peck, Kuhn, 2003).

Όσον αφορά στη μονωτική μεμβράνη, η οπτική επιθεώρηση και η συντήρηση καθίσταται πολλές φορές περίπλοκη, καθώς το επιλεγμένο σύστημα της πράσινης στέγης την καλύπτει πλήρως. Σε αυτή την περίπτωση, η μεμβράνη προστατεύεται από βλάβες διάτρησης και από την ηλιακή ακτινοβολία, γεγονότα που αυξάνουν τη διάρκεια ζωής της. Παρόλα αυτά, είναι πιθανό να εμφανιστούν διαρροές στις αρθρώσεις και στα εξαρτήματα προσαρμογής λόγω της κακής εγκατάστασης της. Προγραμματισμένοι έλεγχοι της μονωτικής μεμβράνης είναι καλό να καθορίζονται λίγο πριν τη λήξη της περιόδου εγγύησης της. Ορισμένες εταιρείες συνιστούν την ενσωμάτωση ενός ηλεκτρονικού συστήματος ανίχνευσης διαρροών για τον εντοπισμό της ακριβής θέσεως της διαρροής.

Οι βασικοί παράγοντες που εξετάζονται κατά τη διάρκεια της συντήρησης είναι οι εξής:

- *Ανεπιθύμητα φυτά:* Για παράδειγμα, σε μια εκτατικού τύπου πράσινη στέγη, που αποτελείται από φυτά sedum, είναι πολύ πιθανή η εμφάνιση αγριόχορτων μετά από ένα ζεστό και υγρό καλοκαίρι. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης τα αγριόχορτα πρέπει να απομακρυνθούν, και οι γυμνές εκτάσεις που θα προκύψουν να καλυφθούν είτε με sedum είτε με γρασίδι.
- *Άρδευση*
- *Λιπάσματα:* Δεν προτιμάται να χρησιμοποιούνται λιπάσματα σε εκτατικού τύπου πράσινες στέγες, καθώς μπορεί να μειωθεί η ποικιλία των ειδών βλάστησης, ενώ παράλληλα η χρήση τους θα οδηγήσει σε αύξηση των θρεπτικών συστατικών και μείωση της ποιότητας της προκύπτουσας απορροής. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου το νερό συλλέγεται για επαναχρησιμοποίηση είναι απαγορευτική η χρήση λιπασμάτων.
- *Αντιπυρικές ζώνες:* Όλες αυτές οι ζώνες πρέπει να διατηρούν το αρχικό πλάτος σχεδιασμού και να καθαρίζονται από πιθανή εμφάνιση φυτών.
- *Στραγγιστικές είσοδοι και έξοδοι:* Πρέπει να ελέγχονται κάθε χρόνο και να καθαρίζονται εάν απαιτείται για να παρέχουν τη βέλτιστη απόδοση (GRO, 2011)

3.5 ΤΥΠΟΙ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΣΤΕΓΩΝ

Οι πράσινες στέγες ποικίλουν τόσο σε σχήμα όσο και σε μέγεθος. Επιπλέον, μπορεί να εγκατασταθούν τόσο σε νέες κατασκευές όσο και στα ήδη υπάρχοντα κτίρια. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι πράσινων στεγών ανάλογα με το βάθος του εδαφικού υποστρώματος, τη χρήση τους, τα είδη των επιλεγμένων φυτών που αναπτύσσονται σε αυτούς και τους παράγοντες που επηρεάζουν την συντήρησή τους, οι εντατικοί (intensive green roofs or active green roofs), οι εκτατικοί (extensive) και οι ημιεντατικοί (semi-extensive or semi-intensive).

Παρατηρείται ότι ο διαχωρισμός ως προς τον τύπο της πράσινης στέγης δεν εξαρτάται μόνο από το πάχος του υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών, όπως υποστηριζόταν παλαιότερα. Χαρακτηριστικά παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας όπου παρουσιάζονται οι διαφορές στην τιμή του πάχους αυτού για τους εντατικούς και εκτατικούς τύπους πράσινης στέγης, ανάλογα με τον εκάστοτε μελετητή:

Πίνακας 3.4 Πάχος υποστρώματος ανάπτυξης βλάστησης ανάλογα με τον τύπο της πράσινης στέγης

Πάχος Υποστρώματος Ανάπτυξης Βλάστησης		
Τύπος Πράσινης στέγης		Παραπομπή
Εντατικός (mm)	Εκτατικός (mm)	
150 - 200	50 - 150	Kosareo and Ries (2007)
>500	-	Kohler et al. (2002)
150 - 350	30 - 140	Mentens et al. (2006)
>100	<100	Wong et al. (2007)
>300	-	Bengtsson et al. (2005)
>100	20 - 100	Graham and Kim (2005)

3.5.1 ΕΝΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ

Ο εντατικός τύπος πράσινης στέγης (εικόνα 3.14) απαιτεί σύνθετο σχεδιασμό καθώς πρέπει να ανταποκρίνεται στις αυξημένες επιβαλλόμενες φορτίσεις. Το πάχος του υποστρώματος ανάπτυξης κυμαίνεται από 20,54 έως 122 cm, ανάλογα με το επιλεγμένο είδος της βλάστησης. Περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία φυτών, θάμνων και μεγάλων δέντρων. Τονίζεται ότι ανάλογα με την επιλογή της φυτοκάλυψης είναι πιθανή η κατασκευή επιπλέον δεξαμενών συλλογής νερού, συστημάτων άρδευσης και λίπανσης. Η εντατική πράσινη στέγη μπορεί να χαρακτηριστεί και πράσινος κήπος κι αυτό γιατί είναι δυνατό να δημιουργηθούν σε αυτή πέργκολες, μονοπάτια, λίμνες, βρύσες και άλλα αρχιτεκτονικά στοιχεία που συμβάλλουν στην αισθητική του χώρου αυτού. Παράλληλα, ο εντατικός τύπος δύναται να υποστηρίξει την παραγωγή τροφίμων, με αποτέλεσμα να μειώσει την ανάγκη μεταφοράς φρέσκων προϊόντων και συνεπώς να ελαττώσει την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>).

Αυτός ο τύπος πράσινης στέγης προτιμάται σε οροφές οι οποίες είναι σχετικά επίπεδες (1 έως 1,5%) ή έχουν ήπια κλίση της τάξεως του 3%. Σημειώνεται ότι το κόστος συντήρησης είναι υψηλό λόγω των διαφόρων επιπέδων που κατασκευάζονται και εξαρτάται άμεσα από τα επιλεγμένα είδη φυτών. Παρόλα αυτά, τα οικολογικά οφέλη είναι πολλά λόγω της βιοποικιλότητας και των φυσικών λειτουργιών που επικρατούν σε μια τέτοια στέγη (<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>).



Εικόνα 3.14 Εντατικός τύπος πράσινης στέγης (Προέλευση: <http://www.nationalroofingusa.com/garden-roof-ideas-gallery.php>)

3.5.2 ΕΚΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ

Ο εκτατικός τύπος πράσινης στέγης (εικόνα 3.15) αποτελεί μια πιο απλή κατασκευή συγκρινόμενος με τον εντατικό. Το υπόστρωμα ανάπτυξης κυμαίνεται από 40 mm έως 18cm. Αποτέλεσμα αυτού είναι η περιορισμένη δυνατότητα μεγάλου μεγέθους φυτών. Συνεπώς, η βλάστηση συνίσταται από χλοοτάπητα και φυτά χαμηλής βλάστησης όπως χόρτα, βολβοί και βρύα. Σημειώνεται ότι η συντήρηση που είναι απαραίτητη σε αυτόν τον τύπο, είναι πρακτικά ελάχιστη και για αυτό το λόγο αποτελεί την ιδανική προσέγγιση για την κάλυψη μιας οροφής σε περίπτωση περιορισμένης ή ανύπαρκτης ανθρώπινης πρόσβασης. Συγκεκριμένα, απαιτείται τακτική συντήρηση τα πρώτα δύο χρόνια για τον έλεγχο της σωστής ανάπτυξης της επιλεγμένης βλάστησης, η οποία στη συνέχεια περιορίζεται σε μία ή δύο φορές το χρόνο. Με άλλα λόγια αυτός ο τύπος πράσινης στέγης σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σχεδόν αυτάρκης (<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>).

Σε γενικές γραμμές, η εκτατικού τύπου πράσινη στέγη μπορεί να κατασκευαστεί σε στέγες με κλίσεις έως και 33% και μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε υπάρχουσες δομές με μικρή, ή πιο συχνά, χωρίς πρόσθετη δομική υποστήριξη. Τέλος τονίζεται ότι λόγω των παραπάνω στοιχείων αυτός ο τύπος στέγης αποτελεί οικονομικά προσφορότερη λύση (<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>).



Εικόνα 3.15 Εκτατικός τύπος πράσινης στέγης πάνω από χώρο στάθμευσης στη Γερμανία
(Προέλευση: <http://greeningthecity.wordpress.com/green-roofs/>)

3.5.3 ΗΜΙΕΝΤΑΤΙΚΟΣ Η ΗΜΙΕΚΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ

Ο ημιεντατικός (semi-intensive) ή πιο σπάνια ημιεκτατικός (semi-extensive) τύπος πράσινης στέγης (εικόνα 3.16) αποτελεί ένα υβρίδιο του εντατικού και του εκτατικού τύπου με σκοπό να γεφυρωθεί το χάσμα που υπάρχει μεταξύ τους. Επιλέγεται σε περιπτώσεις που η στέγη δύναται να προσεγγιστεί από παρακείμενα κτίρια, αλλά η δυνατότητα πρόσβασης σε αυτή είναι περιορισμένη, ενώ παράλληλα το κατάστρωμα της στέγης δεν μπορεί να υποστηρίξει στατικά τον εντατικό τύπο. Ο ημιεντατικός τύπος αποτελείται από ένα υπόστρωμα ανάπτυξης βλάστησης πάχους 10 έως 25 cm. Η φυτοκάλυψη του συνίσταται από χλοοτάπητα, φυτά εδαφοκάλυψης και χαμηλούς θάμνους. Τέλος, τόσο η συντήρηση όσο και η άρδευση σε αυτή την περίπτωση έχουν περιοδικό χαρακτήρα και εξαρτώνται από την επιλεγμένη βλάστηση (<http://www.greenroofs.org/>).



Εικόνα 3.16 Ημιεντατικός τύπος πράσινης στέγης (Προέλευση:

<http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/Environment/documents/Chapter5.ArchitecturalDesignConsiderations.pdf>)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εντατικών και εκτατικών τύπων πράσινης στέγης:

Πίνακας 3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Εντατικού και Εκτατικού τύπου (Bass et al., 1998.)

		Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Τύπος Πράσινης Στέγης	Εκτατικός	Μικρό Βάρος	Μικρή ενεργειακή απόδοση
		Κατάλληλος για μεγάλες εκτάσεις	Μικρή κατακράτηση ομβρίων
		Χαμηλή συντήρηση	Περιορισμός στα είδη φυτών
		Μεγάλη διάρκεια ζωής	Όχι πρόσβαση για άλλες χρήσεις (πχ αναψυχή)
		Εφαρμογή σε επίπεδα από 0° έως 30°	
		Όχι απαίτηση για σύνθετες τεχνολογίες άρδευσης και αποστράγγισης	Υψηλό άμεσο κόστος (2 πρώτα χρόνια συντήρηση)
		Τοποθετείται σε υφιστάμενες κατασκευές (retrofitted)	
		Σχετικά μικρό κόστος κεφαλαίου	Πολλοί τον θεωρούν με μικρή αισθητική
		Αισθητικά φυσικό αποτέλεσμα	
	Εντατικός	Μεγάλη ποικιλία φυτών	Μεγάλο υπερκείμενο φορτίο
		Καλές μονωτικές ιδιότητες	Υψηλές απαιτήσεις για άρδευση και αποστράγγιση
		Δημιουργία ενδιαιτημάτων για πανίδα	
		Καλή αισθητική	Μεγάλο κεφάλαιο για συντήρηση
		Μεγάλη ενεργειακή απόδοση	
		Πολλές χρήσεις	Πολύπλοκα συστήματα
Μεγάλη κατακράτηση ομβρίων			
Μεγάλη διάρκεια ζωής μεμβρανών		Εξειδικευμένη γνώση	

Ακολουθως, επισυνάπτονται κάποιες ενδεικτικές προδιαγραφές διαχωρισμού των πράσινων στεγών στον Ελλαδικό χώρο (Πίνακας 3.6)

Πίνακας 3.6 Προδιαγραφές διαχωρισμού πράσινων στεγών (Προέλευση: <http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

Τύπος Στέγης Ιδιότητες	Εντατικός	Ημιεντατικός	Εκτατικός
Πάχος υποστρώματος ανάπτυξης φυτών	15 – 150 cm	15 – 25 cm	10 – 15 cm
Κορεσμένο φορτίο	≥ 250 kg/ m ²	150 – 280 kg/ m ²	80 - 150 kg/ m ²
Συντήρηση	Μεγάλη	Μεσαία	Μικρή
Ποικιλομορφία φυτών	Μεγάλη	Μεσαία	Μικρή
Κόστος	Μεγάλο	Μεσαίο	Μικρό

3.5.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

Παράγοντες

- η αντοχή του κτιρίου για να δεχτεί πρόσθετο μόνιμο φορτίο
- ο τρόπος κατασκευής της στέγης (κλίση στέγης, κλίση απορροής επιφάνειας στέγης)
- οι συνθήκες περιβάλλοντος στην επιφάνεια που θα εγκατασταθούν φυτά
 - Ρεύματα αέρα
 - Έκθεση των επιφανειών της στέγης (διάρκεια και ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, περιοχές που είναι εκτεθειμένες στον ήλιο, περιοχές που σκιάζονται και περιοχές στις οποίες υπάρχει εναλλαγή ήλιου-σκιάς)
- το κόστος κατασκευής
- το επιθυμητό αισθητικό, λειτουργικό και ενεργειακό αποτέλεσμα (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>)

Το πρώτο και πλέον καθοριστικό κριτήριο επιλογής τύπου πράσινης στέγης είναι η στατική επάρκεια του κτιρίου. Σημειώνεται ότι αυτός ο παράγοντας παίζει ρόλο κυρίως σε μετασκευές, καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις το συνολικό φορτίο των κατασκευών, όπως το φορτίο του συστήματος υποδομής πράσινης στέγης, η βλάστηση και οποιοδήποτε δομικό στοιχείο δεν πρέπει να ξεπεράσει το υπολογισμένο φορτίο ή φορτίο επικάλυψης που προβλέπεται από την στατική μελέτη, εκτός και αν προβλεφθεί στατική ενίσχυση αυτής. Συνεπώς, στην εκ των υστέρων μετατροπή της συμβατικής στέγης, προτιμάται συνήθως ο εκτατικός τύπος πράσινης στέγης. Αντιθέτως, στις νέες κατασκευές το επιπλέον φορτίο που φέρει η πράσινη στέγη υπολογίζεται στον αρχικό σχεδιασμό του έργου και τότε κρίνεται ποιος τύπος στέγης είναι προτιμότερος (Green roof design resource manual, 2010).

Στον πίνακα που επισυνάπτεται ακολούθως παρουσιάζονται τα φορτία που αντιστοιχούν σε διάφορους τύπους στέγης:

Πίνακας 3.7 Φορτία ανάλογα με τον τύπο της στέγης (Firth and Gedge, 2005)

Τύπος Στέγης	Φορτίο σε κορεσμένη φάση (kg/ m ²)
Στέγη με χαλίκι	90 – 150
Στέγη με πλακάκια	≈ 150
Ταρατσόπλακες	160 - 220
Εκτατικός τύπος πράσινης στέγης	60 - 150
Εντατικός τύπος πράσινης στέγης	200 - 500

Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο είναι οι απαιτήσεις όσον αφορά στη λειτουργία των πράσινων στεγών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που η πράσινη στέγη έχει μοναδικό σκοπό τα περιβαλλοντικά οφέλη προτιμάται ο εκτατικός τύπος, ενώ όταν έχει πολλαπλή χρησιμότητα, όπως παραγωγή φρούτων - λαχανικών, χώρους ψυχαγωγίας για το κοινό και άλλα τότε επιλέγεται ο εντατικός τύπος (Green roof design resource manual, 2010). Σε αυτή την περίπτωση απαραίτητος είναι ο υπολογισμός και των δομικών ή φυσικών στοιχείων που συνδυάζονται με τη φύτευση, όπως είναι οι διάδρομοι κίνησης, τα δάπεδα, τα συστήματα σκίασης και

τα στοιχεία νερού, τα οποία πρέπει να συνεκτιμηθούν. Τονίζεται ότι ο υπολογισμός φορτίων των συστημάτων υποδομής της πράσινης στέγης πρέπει να γίνεται σε συνθήκες κορεσμού (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

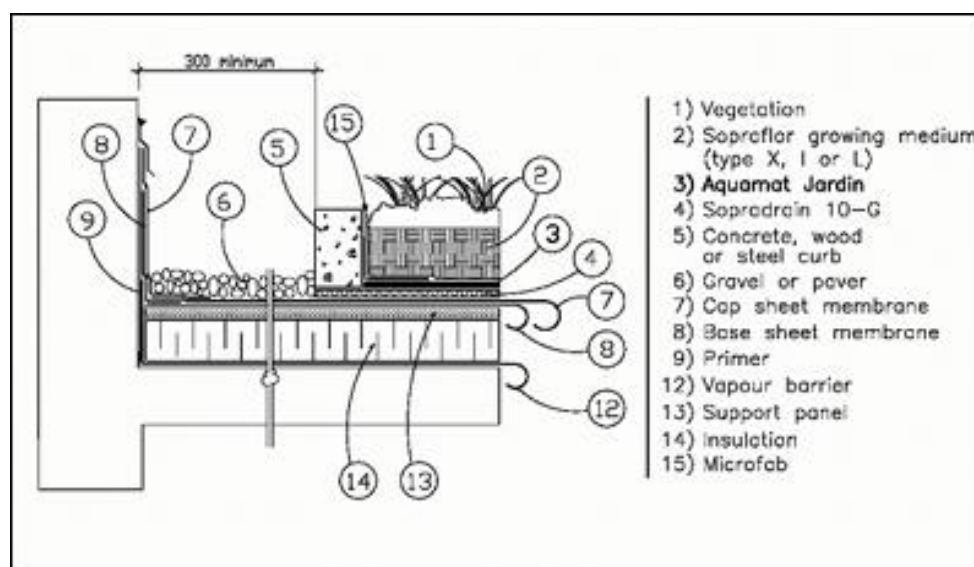
Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τον τύπο της στέγης είναι η κλίση της απορροής από την επιφάνεια αυτής. Επομένως, για την απορροή της πλεονάζουσας ποσότητας νερού στις πράσινες στέγες εκτατικού και ημιεντατικού τύπου, οι κλίσεις απορροής πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5%, διαφορετικά απαιτείται ιδιαίτερη αντιμετώπιση. Το αποστραγγιστικό σύστημα, πρέπει να πληροί την απαραίτητη αποστραγγιστική ικανότητα, αλλά και το απαιτούμενο ύψος για την απορροή του πλεονάζοντος νερού. Όσον αφορά στον εντατικό τύπο, θα ήταν δόκιμο οι κλίσεις απορροής να είναι τουλάχιστον 1,5%. Όμως, η εφαρμογή αυτού του τύπου είναι δυνατή και σε στέγες με μηδενική κλίση απορροής, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα αποστραγγιστικά στοιχεία που επιτρέπουν την δημιουργία δεξαμενών αποθήκευσης νερού στο σύστημα υποδομής (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι πράσινες στέγες ανεξαρτήτως του εντατικού ή εκτατικού χαρακτήρα τους έχουν συγκεκριμένα συστήματα και τεχνολογίες σχεδιασμού. Τα τρία πιο κοινά συστήματα είναι τα πλήρη, τα αρθρωτά και τα προκαλλιεργημένα φυτικά καλύμματα.

3.6.1 ΠΛΗΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε ένα πλήρες σύστημα πράσινης στέγης, όλα τα τμήματα του σχεδιάζονται για να υποστηρίξουν την ανάπτυξη της βλάστησης. Τα συστήματα αυτά παρέχουν μεγάλη ευελιξία όσον αφορά στο είδος των φυτών και στο υπόστρωμα ανάπτυξης, καθώς και στα στρώματα προστασίας και αποστράγγισης. Επιπλέον, ο τύπος της μονωτικής μεμβράνης που χρησιμοποιείται ποικίλει. Το πάχος αυτών των συστημάτων είναι μεταξύ 50 και 75 mm και το βάρος τους κυμαίνεται μεταξύ 60 και 90 κιλών ανά τετραγωνικό μέτρο (<http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm>). Το μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το επιβαλλόμενο φορτίο με αποτέλεσμα να παρατηρείται αυξημένο κόστος για την κατασκευή τους. Στην παρακάτω εικόνα 3.17 διακρίνονται τα συστατικά ενός πλήρους συστήματος:



Εικόνα 3.17 Διαφορετικά στρώματα ενός πλήρους συστήματος (Προέλευση: <http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm>)

3.6.2 ΑΡΘΡΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα αρθρωτά συστήματα είναι είδη βλάστησης που καλλιεργούνται σε ένα υπόστρωμα ανάπτυξης εκτός της στέγης και ύστερα τοποθετούνται σε αυτή για να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη. Αυτά είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά βάθη του υποστρώματος καλλιέργειας και συνήθως κυμαίνονται από 75 έως 300 mm (<http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm>). Η ποικιλία των φυτών είναι συνήθως περιορισμένη. Στην παρακάτω εικόνα 3.18 παρουσιάζεται μια στέγη με αρθρωτή τεχνολογία σχεδιασμού:



Εικόνα 3.18 Πράσινη στέγη με αρθρωτά συστήματα (Πρόελευση: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=593>)

3.6.3 ΠΡΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΜΕΝΑ ΦΥΤΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ

Παρόμοια με τα αρθρωτά συστήματα, τα προκαλλιεργημένα φυτικά καλύμματα κατασκευάζονται εκτός της οροφής και μετά την ανάπτυξη των φυτών τοποθετούνται σε αυτή. Η κύρια διαφορά είναι στον τρόπο εγκατάστασης των καλυμμάτων, καθώς αυτά τοποθετούνται με κύλιση πάνω στη στέγη. Τα καλύμματα είναι πολύ λεπτά με αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμός στα φυτά που μπορούν να αναπτυχθούν. Το πλεονέκτημα τους, όμως, είναι ότι απαιτούν λίγη συντήρηση (Oberndorfer et al, 2007).

Στην εικόνα 3.19 παρουσιάζεται η εφαρμογή ενός προκαλλιεργημένου φυτικού καλύμματος.



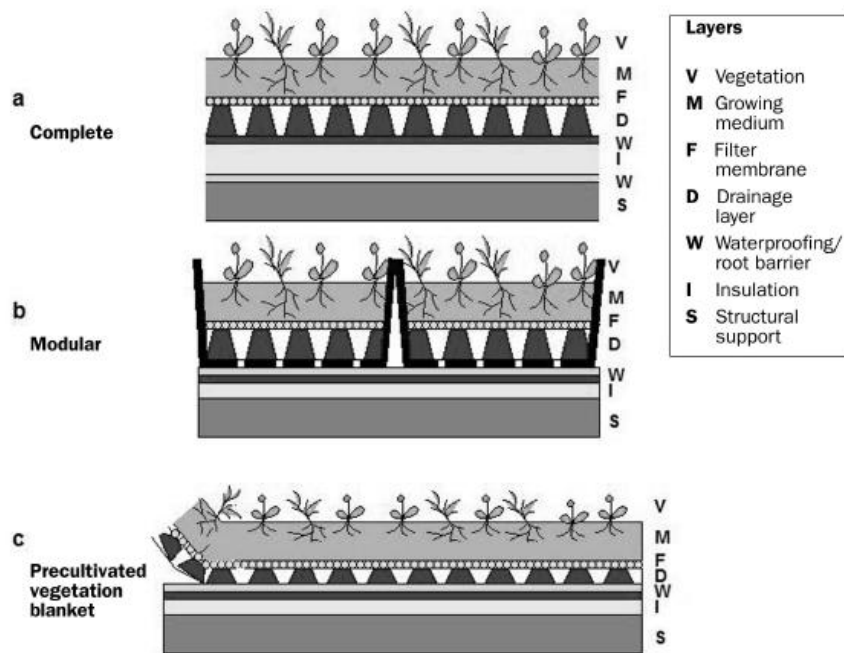
Εικόνα 3.19 Προκαλλιεργημένα φυτικά καλύμματα πράσινης στέγης (Πρόέλευση: <http://www.sempergreen.com/en/applications/green-roofs>)

Πολλοί κατασκευαστές προτιμάνε τα αρθρωτά συστήματα συγκριτικά με τα πλήρη για τους παρακάτω λόγους:

- Απλότητα σχεδιασμού
- Εύκολη εγκατάσταση
- Εξοικονόμηση χρόνου εγκατάστασης: Τα προκατασκευασμένα τμήματα καλλιεργούνται εκτός της πράσινης στέγης, ενώ η οροφή κατασκευάζεται ή μετασκευάζεται με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συνολικός χρόνος κατασκευής.
- Φύτευση εκτός πράσινης στέγης: Τα φυτά καλλιεργούνται ανεξάρτητα της κατασκευής και μπορούν να τοποθετηθούν οποιαδήποτε στιγμή του έτους, καθώς τόσο το ριζικό σύστημα όσο και τα ίδια έχουν αναπτυχθεί πλήρως. Σημειώνεται ότι συνήθως οι αρθρωτές μονάδες καλλιεργούνται το φθινόπωρο ή την άνοιξη.

- Διαφορετικά υποστρώματα ανάπτυξης βλάστησης: Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεγαλύτερη ποικιλία φυτών
- Ρύθμιση και αναδιάταξη μετά την εγκατάσταση (Velazquez, 2003)

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.20) παρουσιάζονται οι τομές των τριών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στις πράσινες στέγες.



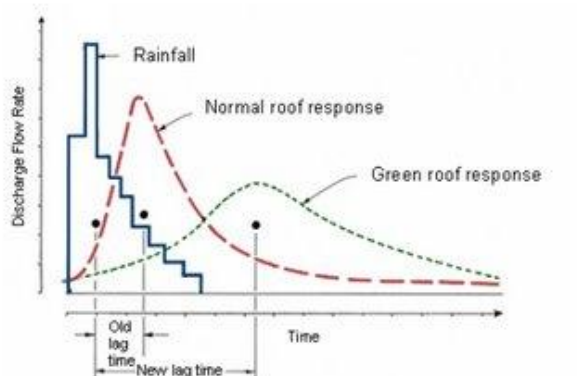
Εικόνα 3.20 Τυπική τομή πλήρους συστήματος, αρθρωτού συστήματος και προκαλλιεργημένου φυτικού καλύμματος (Oberndorfer et al., 2007)

3.7 ΟΦΕΛΗ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΣΤΕΓΩΝ

Οι πράσινες στέγες παρουσιάζουν ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων τόσο από την πλευρά της κοινωνίας όσο και από την πλευρά του ιδιώτη.

3.7.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Ένας από τους λόγους εγκατάστασης μιας πράσινης στέγης είναι η ελάττωση της απορροής. Λόγω της αστικοποίησης πολλές διαπερατές επιφάνειες έχουν μετατραπεί σε αδιαπέρατες, με αποτέλεσμα να είναι έντονο το πρόβλημα των πλημμυρών. Τα δίκτυα ομβρίων δεν μπορούν να συγκρατήσουν τον όγκο του επιφανειακά απορρέοντος νερού, ενώ παράλληλα η διάδος προς τους υπόγειους υδροφορείς καθίσταται δυσχερής. Λύση στο πρόβλημα μπορεί να δοθεί με τη μετατροπή κάποιων αδιαπέρατων επιφανειών σε πιο διαπερατές. Αυτό σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως είναι οι περισσότερες πόλεις καθίσταται σχεδόν αδύνατο. Συνεπώς, η πλέον δόκιμη λύση είναι η κατασκευή πράσινων στεγών στα κτίρια. Σημειώνεται ότι οι πράσινες στέγες με κατάλληλο σχεδιασμό είναι ικανές να συγκρατούν μεγάλο ποσό του βρόχινου νερού (Carter and Rasmussen, 2006). Το νερό αποθηκεύεται είτε στο υπόστρωμα ανάπτυξης είτε στη βλάστηση, όπου από εκεί απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής και της εξάτμισης. Στην εικόνα 3.21 φαίνονται οι διαφορές στην αιχμή της απορροής και στο χρόνο υστέρησης στις περιπτώσεις της μαύρης και της πράσινης στέγης για δεδομένη βροχόπτωση.



Εικόνα 3.21 Απεικόνιση της απορροής από μια συμβατική (μαύρη) και μια πράσινη στέγη για δεδομένη βροχόπτωση (Προέλευση: <http://greenroofireland.blogspot.gr/>)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του νερού που θα αποθηκευτεί στην πράσινη στέγη είναι οι ακόλουθοι:

- Ο αριθμός των στρωμάτων και ο τύπος των υλικών
- Το πάχος του υποστρώματος ανάπτυξης βλάστησης
- Ο τύπος του εδάφους
- Η φυτοκάλυψη
- Το είδος της βλάστησης
- Η γεωμετρία της στέγης (κλίση και μήκος αυτής)
- Η θέση της στέγης (π.χ. σκίαση)
- Η ένταση και η διάρκεια της βροχής
- Η διάρκεια της προηγούμενης ξηρής περιόδου
- Το κλίμα (θερμοκρασία ανέμου, υγρασία, άνεμος)
- Η ηλικία της στέγης (Dunnett and Kingsbury 2004, Mentens et al. 2005)

Μια τυπική πράσινη στέγη εκτατικού τύπου δύναται να κατακρατήσει πλήρως το 50 έως 75% των ομβρίων υδάτων, να καθυστερήσει και να μειώσει την αιχμή της επιφανειακής απορροής και συνεπώς να ανακουφίσει τα τοπικά συστήματα ομβρίων (CIBSE, 2007). Στον πίνακα παρουσιάζονται τρεις περιπτώσεις εκτατικών τύπων και τα αντίστοιχα ποσοστά επιφανειακής απορροής.

Πίνακας 3.8 Ποσοστά απορροής για πράσινη στέγη εκτατικού τύπου (CIBSE, 2007)

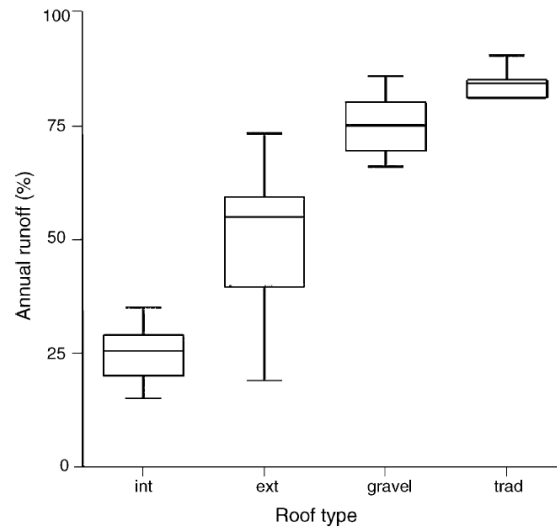
Ποσοστά απορροής			
Υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών(mm)	Κατάσταση	Ποσοστό επιφανειακής απορροής(%)	Εξατμοδιαπνοή(%)
50	Εγκατεστημένη	37	63
120	Εγκατεστημένη	28	72
100	Νέα	58	42

Στον πίνακα παρουσιάζονται τα ποσοστά κατακράτησης και απορροής των ομβρίων σε ετήσια βάση, για εκτατικούς τύπους πράσινης στέγης, τα οποία αντιστοιχούν σε βροχόπτωση 650 – 800 mm.

Πίνακας 3.9 Μέση ετήσια κατακράτηση και απορροή ομβρίων ανάλογα με το πάχος υποστρώματος και τη βλάστηση για εκτατικού τύπου πράσινη στέγη (FLL, 2002)

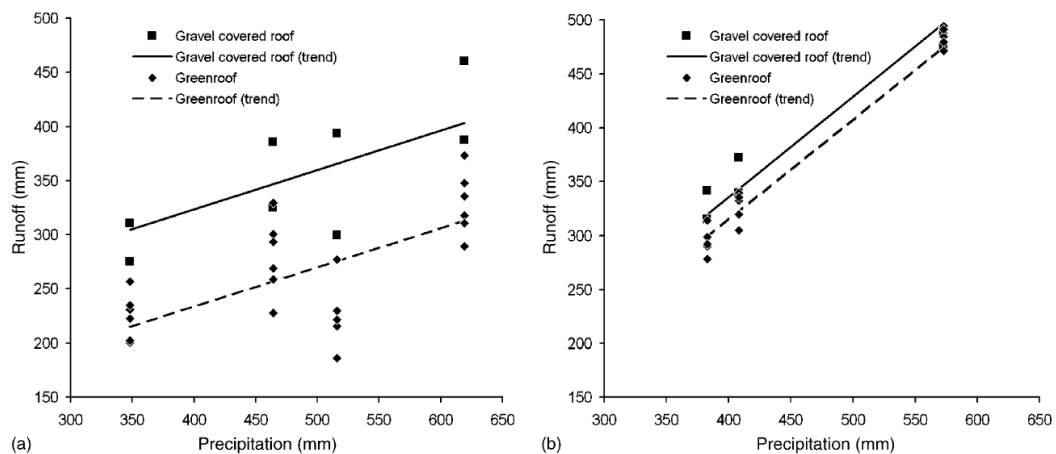
Κατακράτηση και απορροή νερού σε εκτατικού τύπου πράσινες στέγες			
Βλάστηση	Πάχος Εδαφικού Υποστρώματος (mm)	Μέση ετήσια κατακράτηση ομβρίων (%)	Μέση ετήσια απορροή ομβρίων (%)
moss- sedum	20-40	40	60
sedum- moss	40-60	45	55
sedum-moss-herbaceous plants	60-100	50	50
sedum-herbaceous plants-grass plants	100-150	55	45
grass-herbaceous plants	150-200	60	40

Μια έρευνα που διεξήχθη στο Βέλγιο προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει τη μείωση της επιφανειακής απορροής που είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέσω των πράσινων στεγών (Mentens et al, 2005). Τα αποτελέσματα για ετήσια χρονική βάση διαγράφονται στην εικόνα 3.22. Παρατηρείται ότι η ετήσια απορροή μειώνεται με τη χρήση της πράσινης στέγης. Ειδικότερα, στην παραδοσιακή (μαύρη) στέγη το ποσοστό είναι περίπου 85%, ενώ στην εκτατικού και εντατικού τύπου πράσινη στέγη ανέρχεται σε ποσοστά 55% και 25% αντίστοιχα.



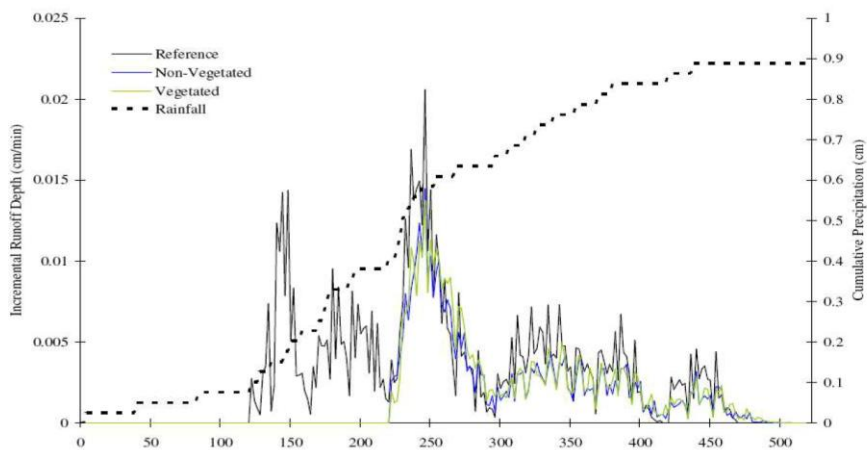
Εικόνα 3.22 Ποσοστό ετήσιας απορροής για διάφορους τύπους στέγης (Mentens et al, 2005)

Τα αποτελέσματα σε εποχιακή βάση έδειξαν ότι η απορροή το χειμώνα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από το καλοκαίρι σε όλους τους τύπους στεγών. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.23, στη στέγη από χαλίκια τα ποσοστά της απορροής ήταν 86% για το χειμώνα (εικόνα 3.23b) και 70% και για το καλοκαίρι (εικόνα 3.23a), ενώ στην πράσινη στέγη ήταν 80% και 52% αντίστοιχα (Mentens et al, 2005).



Εικόνα 3.23 Απορροή για διάφορους τύπους πράσινης στέγης που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη βροχόπτωση (Mentens et al, 2005)

Το 2003 το πανεπιστήμιο της Georgia (UGA) κατασκεύασε μια πράσινη στέγη, η οποία περιείχε δύο διαφορετικά συστήματα σχεδιασμού, ένα πλήρες και ένα αρθρωτό. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, η πράσινη στέγη πλήρους συστήματος κατακράτησε το 78% του συνολικού όγκου ομβρίων και αυτή της αρθρωτής τεχνολογίας το 67%. Σημειώνεται ότι η συνολική ετήσια κατακράτηση ήταν 43% λόγω της κατανομής των βροχοπτώσεων, καθώς οι 23 από τις 70 συνετέλεσαν στο 73% του συνολικού όγκου ομβρίων. Όσον αφορά στη βλάστηση, η συνεισφορά της στα παραπάνω ποσοστά ήταν αμελητέα. Ένα άλλο συμπέρασμα που εξήχθη (εικόνα 3.24) είναι το εξής: Στις συμβατικές στέγες δεν παρατηρείται κατακράτηση των ομβρίων με αποτέλεσμα η επιφανειακή απορροή να αρχίζει άμεσα. Παράλληλα, οι πράσινες στέγες τείνουν να συμπεριφερθούν ανάλογα των συμβατικών όταν το υπόστρωμα ανάπτυξης φτάσει σε επίπεδο κορεσμού (Carter & Butler, 2008).



Εικόνα 3.24 Αθροιστική απορροή από συμβατική και πράσινη στέγη για δεδομένη βροχόπτωση (Carter & Butler, 2008)

3.7.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Οι πράσινες στέγες είναι ευρέως αναγνωρισμένες ως ένα μέσο για τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης μειώνουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ενώ παράλληλα παράγουν οξυγόνο. Επιπλέον, λόγω της μείωσης του φαινομένου της θερμικής νησίδας, παρατηρείται και ελάττωση της εκπομπής του όζοντος. Ταυτόχρονα, αερομεταφερόμενες ρυπογόνες ουσίες παγιδεύονται στα φύλλα των φυτών. Ένας άλλος έμμεσος λόγος που συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι ότι οι πράσινες στέγες απορροφούν τα βαρέα μέταλλα, τα αιωρούμενα σωματίδια άλλα και τις πτητικές οργανικές ενώσεις με αποτέλεσμα να μην απορρέουν μαζί με το βρόχινο νερό. Αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας είναι η αναβάθμιση της ποιότητας του νερού στα αστικά υδατορεύματα (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.7.3.1 Γενικά Στοιχεία

Οι πράσινες στέγες μειώνουν τις ενεργειακές απαιτήσεις στα κτίρια που τοποθετούνται με διάφορους τρόπους, όπως με την προσθήκη μόνωσης, με την παρουσία σκιάς και με την προστασία του κτιρίου από τον αέρα. Η θερμική απόδοση αυτών εξαρτάται τόσο από την εποχή του χρόνου, όσο και από την ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει το σύστημα.

Η μόνωση επιβραδύνει το ποσοστό μεταφοράς της θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού ενός κτιρίου. Τονίζεται ότι το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας ΔT μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα.

Σημειώνεται ότι η κλίση της στέγης επηρεάζει την διαμόρφωση του μικροκλίματος στην επιφάνεια της, διότι επιδρά στη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, στην ταχύτητα των επικρατούντων ανέμων καθώς και στα ρεύματα αέρα που δημιουργούνται (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.3.2 ψύξη

Σε καλά μονωμένα κτίρια, τους ζεστούς μήνες του καλοκαιριού, απορροφάται μικρή ποσότητα θερμότητας και χάνεται αντίστοιχα μικρή ποσότητα υδρατμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δαπανών για ανάγκες κλιματισμού του χώρου. Αντιθέτως, σε κτίρια με ανεπαρκή μόνωση είναι πιθανό να παρατηρηθεί το φαινόμενο της υπερθέρμανσης, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις κλιματισμού. Πέρα από τη μονωτική ενίσχυση που προφέρει στο κτίριο, η πράσινη στέγη συντελεί στη μείωση της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από το κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με την παροχή σκιάς, με τις λειτουργίες της φωτοσύνθεσης και της εξατμοδιαπνοής που λαμβάνουν χώρα στη στρώμα της βλάστησης και με τη διεργασία της εξάτμισης από το υπόστρωμα ανάπτυξης. Συνεπώς, συγκριτικά με μια συμβατική στέγη παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια αυτής (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.3.3 Θερμική μόνωση

Οι πράσινες στέγες είναι δυνατό να μειώσουν τις απώλειες θερμότητας από τα κτίρια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, μέσω των διεργασιών του ριζικού συστήματος των φυτών και των αέριων στρωμάτων που δημιουργούνται κάτω από συγκεκριμένα είδη βλάστησης. Αποτέλεσμα αυτών είναι η έκλυση θερμότητας και η δημιουργία μιας μεμβράνης μόνωσης. Όμως, η αποτελεσματικότητα των πράσινων στεγών ως θερμικοί φραγμοί εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που συγκρατείται μέσα στο σύστημα. Συγκεκριμένα, η κατακράτηση του νερού μπορεί να αυξήσει το ποσό της θερμότητας που χάνεται από το σύστημα και ως εκ τούτου να μην επιφέρει την προσδοκώμενη μόνωση. Συνεπώς, η αποτελεσματικότητα αυτού κατά τους χειμερινούς μήνες είναι άμεσα εξαρτημένη από τις καθημερινές καιρικές συνθήκες. Για αυτό το λόγο, δεν υπάρχουν ακόμη ακριβή αριθμητικά στοιχεία για την ενεργειακή απόδοση των πράσινων στεγών (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.3.4 Παραδείγματα

Το πανεπιστήμιο της Georgia (UGA) διεξήγαγε ένα πείραμα το 2003 στα πλαίσια του οποίου κατασκεύασε μια πράσινη στέγη αρθρωτής τεχνολογίας και εξήγαγε το εξής συμπέρασμα για την ενεργειακή αποδοτικότητα αυτής. Η καταβαλλόμενη ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου μειώνεται με τη χρήση της πράσινης στέγης. Συγκεκριμένα, για μια τυπική κατασκευή παρατηρείται ελάττωση από 0.3% έως 5%, ενώ για μεγάλες επιφάνειες το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 12,1% και 31,7% για ανάγκες ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα (Carter & Butler, 2008).

Μια άλλη έρευνα που πραγματοποίησε το πανεπιστημίου Nottingham Trent κατέληξε στο παρακάτω αποτέλεσμα. Για μέση ημερήσια θερμοκρασία 18,4°C, σημειώθηκε θερμοκρασία 32°C και 17,1°C κάτω από την επιφάνεια συμβατικής και πράσινης στέγης αντίστοιχα. Αντίστοιχα, για μέση ημερήσια θερμοκρασία 0°C, σημειώθηκε θερμοκρασία 0,2°C και 4,7°C κάτω από την επιφάνεια συμβατικής και πράσινης στέγης αντίστοιχα (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

Τέλος, μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Σικάγο πρόσφατα, εκτιμά ότι η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια μπορεί να ανέλθει στα 100.000.000 δολάρια, εάν όλες οι στέγες μετατραπούν σε πράσινες, καθώς με αυτό τον τρόπο η ανάγκη για κλιματισμό θα ελαττωθεί (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.4 ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι πράσινες στέγες αποτελούν ένα αποτελεσματικό ηχομονωτικό μέσο, ειδικά σε περιπτώσεις εκπομπής χαμηλής συχνότητας θορύβου. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι αυτές δύναται να μειώσουν τον ήχο στο εσωτερικό του κτιρίου κατά 8 dB συγκρινόμενες με τις συμβατικές στέγες, ενώ παράλληλα ελαττώνουν την ένταση του ήχου που ανακλάται κατά 3 dB. Αυτό επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό των φυτών, του εδάφους και των αέριων μαζών που παγιδεύονται στην πράσινη στέγη, ο οποίος λειτουργεί ως φραγμός ήχου. Τα κύματα ήχου απορροφώνται, ανακλώνται ή εκτρέπονται. Σημειώνεται ότι το υπόστρωμα ανάπτυξης τείνει να μπλοκάρει τις χαμηλές συχνότητες, ενώ η βλάστηση τις υψηλές. Συνεπώς,

αντιλαμβάνεται κανείς ότι η απόδοση της ηχομόνωσης εξαρτάται τόσο από το πάχος του εδαφικού υποστρώματος όσο και από τα επιλεγμένα φυτά (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.5 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

Πληθώρα επιστημόνων υποστηρίζουν ότι η οπτική και η φυσική επαφή με το πράσινο παρέχει μια σειρά από οφέλη στους ανθρώπους, τόσο ψυχικά, όπως είναι η μείωση του άγχους, όσο και φυσικά, όπως είναι η βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Η πρόσβαση σε χώρους πρασίνου δύναται να επιφέρει μείωση της αρτηριακής πίεσης και της ταχυκαρδίας (<http://www.efb-greenroof.eu/>). Μια μελέτη στο Τέξας, με θέμα την αποκατάσταση της υγείας των ασθενών μετά από χειρουργείο, έδειξε ότι η ανάρρωση ήταν πιο γρήγορη και η πιθανότητα για υποτροπιασμό μικρότερη στις περιπτώσεις όπου ο ασθενής είχε θέα κάποιο χώρο πρασίνου. Στον σχεδιασμό πολλών νοσοκομείων στην Αμερική και στην Αγγλία λαμβάνεται πλέον υπόψη και η παροχή χώρου πρασίνου (Pederson, 2003).

3.7.6 ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

Οι πράσινες στέγες έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής συγκρινόμενες με τις συμβατικές, καθώς τα υπερκείμενα της μονωτικής μεμβράνης στρώματα λειτουργούν προστατευτικά για αυτή. Με άλλα λόγια, αποφεύγονται οι φθορές στα μονωτικά υλικά που θα προκαλούσε η έκθεση τους στον ήλιο, στην υπεριώδη ακτινοβολία και στις μεγάλες θερμοκρασιακές αυξομειώσεις. Συγκεκριμένα, η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί στα υλικά κατασκευής των στεγών μείωση της αντοχής τους, γεγονός που οδηγεί αναπόφευκτα σε σημαντικά έξοδα συντήρησης. Ομοίως, οι μεγάλες διακυμάνσεις στις ετήσιες και ημερήσιες θερμοκρασίες προκαλούν συστολές και διαστολές στα υλικά κατασκευής της στέγης. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να είναι επαρκείς για να προκαλέσουν μέχρι και την ολική αστοχία της στέγης (Grant et al, 2003).

Τα φυτά λόγω της ανακλαστικής τους ικανότητας, αλλά και λόγω της απορρόφησης σημαντικού ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας για τις βιολογικές λειτουργίες τους, όπως είναι η φωτοσύνθεση και η εξατμοδιαπνοή, προστατεύουν το κτίριο από τα θερμικά φορτία της ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η θερμοκρασία των υλικών κατασκευής μιας συμβατικής στέγης ανέρχεται στους 80°C, ενώ η αντίστοιχη μιας πράσινης στέγης έχει μέγιστη τιμή τους 27°C. Επιπλέον, η ύπαρξη της βλάστησης στο κέλυφος του κτιρίου, ελαχιστοποιεί σε μεγάλο βαθμό τα καταστρεπτικά αποτελέσματα ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως είναι ο ισχυρός άνεμος, το χαλάζι και οι καταιγίδες, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπροσθέτως, η στέγη προστατεύεται από σχισμές, οπές και άλλες ζημιές που δύναται να προκληθούν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συμπεραίνει λοιπόν κανείς ότι όλοι οι παραπάνω παράγοντες συντελούν στην αύξηση της διάρκειας ζωής της στέγης (Moran et al, 2004).

Πολλοί ειδικοί υποστηρίζουν ότι η κατασκευή πράσινης στέγης είναι δυνατόν να διπλασιάσει το χρόνο ζωής της στέγης, ενώ παράλληλα ο χρόνος συντήρησης της μπορεί να φτάσει τα 30 με 40 χρόνια σε σύγκριση με τα 5 έως 10 χρόνια που απαιτούν οι συμβατικές στέγες. Έτσι, από την πλευρά του ιδιώτη παρατηρείται χαμηλότερο συνολικό κόστος κατασκευής και συντήρησης της στέγης, ενώ από την πλευρά της κοινωνίας μικρότερη ποσότητα αποβλήτων ή μπαζών (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.7 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ένας αριθμός των υλικών που χρησιμοποιούνται στις πράσινες στέγες είναι από ανακυκλωμένες πηγές, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στις διάφορες μεμβράνες και στο υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το θρυμματισμένο τούβλο. Σημειώνεται ότι στο Λονδίνο, υπάρχει μια τάση για χρήση ανακυκλωμένων υλικών στο υπόστρωμα ανάπτυξης, τα οποία συλλέγονται από την τοποθεσία κατασκευής της πράσινης στέγης. Αυτό μειώνει την ανάγκη για τη διάθεση των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής και το κόστος μεταφοράς αυτών και παράλληλα ελαττώνει τους ρύπους από τα διάφορα φορτηγά

που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή και εξαγωγή των υλικών αυτών (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.8 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ

Η θερμική νησίδα είναι το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των πόλεων, σε σχέση με τα περίχωρα, κατά τη διάρκεια μιας ζεστής καλοκαιρινής περιόδου και οφείλεται στην αλλαγή του κλίματος που προκαλεί η αποθήκευση ηλιακής ενέργειας στις αστικές επιφάνειες, όπως είναι τα κτίρια και οι δρόμοι κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα, έχει καταγραφεί ότι οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες, κατά μέσο όρο όλο το χρόνο της τάξης των 2°C έως 4°C, σε σύγκριση με τις περιοχές της υπαίθρου (<http://www.meteoclub.gr/>).

Στη διαμόρφωση της θερμικής νησίδας συμβάλλουν τα σκούρα και θερμά υλικά αστικών επιφανειών. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν χαμηλή ανακλαστικότητα (χαμηλό albedo), παρακρατούν τη θερμότητα την ημέρα και την αποδίδουν τη νύχτα, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η φυσική ψύχρανση της ατμόσφαιρας. Άλλα αίτια είναι οι πρόσθετες ανθρωπογενείς πηγές ενέργειας που προέρχονται από τις μεταφορές, τη βιομηχανία και τον κλιματισμό των κτιρίων, αλλά και το ύψος και η διάταξη των κτιρίων γύρω από στενούς δρόμους, που εμποδίζουν τη διαφυγή της ηλιακής ενέργειας και την κυκλοφορία του αέρα. Ένας εξίσου σημαντικός συντελεστής στη διαμόρφωση της θερμικής νησίδας είναι η απουσία πρασίνου στους δημόσιους χώρους, που είναι χαρακτηριστικό των Ελληνικών πόλεων. Η ύπαρξη αυτών μειώνει σημαντικά τη θερμοκρασία του αέρα τη νύχτα, μέσω της λειτουργίας της διαπνοής των φυτών. Αναλυτικότερα, τα φυτά απορροφούν την ημέρα μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας και αντλούν νερό από τη γη, το οποίο αποδίδουν τη νύχτα από τα φύλλα στην ατμόσφαιρα ως υγρασία. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συμβολή τους στη μείωση της έντασης της θερμικής νησίδας, μειώνοντας την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας και ψυχραίνοντας την ατμόσφαιρα τη νύχτα με την υγρασία που αποδίδουν (<http://ecocity.gr/>).

Συγκεκριμένα, τις τελευταίες δεκαετίες, έχει παρατηρηθεί αύξηση του φαινομένου της θερμικής νησίδας στην Αθήνα, λόγω της άναρχης δόμησης και εξάπλωσης του αστικού περιβάλλοντος στο λεκανοπέδιο, καθώς και λόγω των υψηλών κτιρίων που έχουν κατασκευαστεί και του δυσανάλογου πληθυσμού που κατοικεί σε αυτή (<http://ecocity.gr/>). Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 3.10, στον οποίο διακρίνονται οι αλλαγές που επιφέρει στο κλίμα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

Πίνακας 3.10 Επίδραση της θερμικής αστικής νησίδας στο κλίμα μιας αστικής περιοχής συγκρινόμενης με μια αγροτική (Προέλευση:

<http://www.meteoclub.gr/prognosi/attiki/2861-thermiki-nisida-urban-island-effect>)

Παράγοντας	Σύγκριση με το κλίμα μη αστικής περιοχής
Θερμοκρασία	
Ηλιόλουστες μέρες	2°C -6°C περισσότερο
Μεγαλύτερη διαφορά τη νύχτα	10°C περισσότερο
Μέσος όρος	1°C -1,5°C περισσότερο
Μέγιστη Χειμώνα	2°C περισσότερο
Μη παγετώδης περίοδος	3 εβδομάδες περισσότερο
Άνεμοι	
Μέσος όρος	10% - 30% λιγότερο
Ριπές	15% - 30% λιγότερο
Άπνοια	5% - 30% περισσότερο
Ακτινοβολία	
Μέσος όρος	3% - 10% λιγότερο
Υπεριώδης ακτινοβολία Καλοκαίρι	5% λιγότερο
Υπεριώδης ακτινοβολία Χειμώνας	25% - 30% λιγότερο
Διάρκεια ηλιοφάνειας	5% - 20% λιγότερο
Νεφοκάλυψη	
Σύννεφα CNN(πυρήνες συμπύκνωσης)	11 φορές περισσότερο
Νεφοκάλυψη	5% - 15% περισσότερο
Ομίχλη – μικρή ορατότητα Χειμώνας	90% - 100% περισσότερο
Ομίχλη – μικρή ορατότητα Καλοκαίρι	40% - 50% περισσότερο
Αέρια(συγκέντρωση Ρυπαντικών CO ₂ κλπ.)	5% - 20% περισσότερο
Σχετική Υγρασία	
Κατά το Χειμώνα	2% λιγότερο
Κατά το Καλοκαίρι	8 – 11% λιγότερο
Βροχόπτωση	
Γενική	5% - 20% περισσότερο
Αριθμός ημερών βροχόπτωσης	5% - 20% περισσότερο
Ημέρες χιονιού	16% λιγότερο

Η μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας δύσκολα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί. Ωστόσο, η κατασκευή των πράσινων στεγών αποτελεί μια λύση για την ελάττωση των θερμοκρασιών των πόλεων. Μια ενδεχόμενη κάλυψη μεγάλου τμήματος ταρατσών της πόλης με βλάστηση δύναται να μετριάσει το φαινόμενο αυτό. Τα φυτά επιδρούν θετικά είτε άμεσα με τις λειτουργίες τους (διαπνοή και φωτοσύνθεση), είτε έμμεσα παρέχοντας σκιερές επιφάνειες στα κτίρια που οδηγούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και σε λιγότερη χρήση των κλιματιστικών. Αν αναλογιστεί κανείς τις ελάχιστες ελεύθερες επιφάνειες που υπάρχουν στις πόλεις για τη δημιουργία νέων πράσινων χώρων, συνειδητοποιεί ότι η λύση των πράσινων στεγών είναι από τις πλέον βιώσιμες (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.9 ΑΥΞΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗΣ

Οι πράσινες στέγες συντελούν στην αύξηση της αντικειμενικής αξίας τόσο του κτιρίου όπου εγκαθίσταται, όσο και των γύρω αυτού λόγω της αισθητικής αναβάθμισης της περιοχής. Αυτές αποτελούν τμήμα πρασίνου στις έντονα αστικοποιημένες πόλεις. Μάλιστα, στην περίπτωση κατά την οποία η πράσινη στέγη είναι επισκέψιμη, μπορεί να αποτελέσει χώρο αναψυχής και χαλάρωσης (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.10 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΓΙΑ ΠΑΝΙΔΑ

Η πράσινη στέγη καθιστά δυνατή τη δημιουργία αυτόνομων οικοσυστημάτων, ενθαρρύνοντας την ύπαρξη πανίδας. Ως εκ τούτου, πολλά είδη, όπως είναι οι πεταλούδες, οι μέλισσες, οι αράχνες, τα σκαθάρια, τα μυρμήγκια και τα πουλιά δημιουργούν ενδιαιτήματα σε αυτή. Επιπλέον, το υλικό που χρησιμοποιείται στο υπόστρωμα ανάπτυξης φέρει τις κατάλληλες συνθήκες για την εγκατάσταση και παρουσία μικροοργανισμών, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα είδος αστικής οικολογίας. Επισημαίνεται ότι οι πράσινες στέγες δεν αντικαθιστούν τους βιοτόπους που μετατράπηκαν σε αστικές περιοχές, απλά αποτελούν μια βέλτιστη

λύση στη χρησιμοποίηση του ανεκμετάλλετου διαθέσιμου χώρου για τη φιλοξενία κάποιων ειδών, συγκρινόμενες πάντα με τις συμβατικές στέγες (Pederson, 2003).

Τονίζεται ότι είναι αναγκαίος ένας κατάλληλος σχεδιασμός της πράσινης στέγης για τη δυνατή κάλυψη των τοπικών αναγκών και για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Για παράδειγμα, τοπικά υλικά πρέπει να συμπεριληφθούν στην κατασκευή της πράσινης στέγης εάν ο σκοπός της είναι η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για τη φιλοξενία ενδημικών φυτών, πουλιών και εντόμων (<http://www.efb-greenroof.eu/>).

3.7.11 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Ορισμένες πράσινες στέγες, κατά κύριο λόγο εντατικού τύπου, παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής και ανάπτυξης διαφόρων ειδών βλάστησης πέρα από τους συνηθισμένους θάμνους και sedums. Λουλούδια, λαχανικά και χόρτα είναι μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα. Σε διάφορες χώρες, η ανάπτυξη τροφίμων στις πράσινες στέγες παρέχει στήριξη της τοπικής οικονομίας, είτε μέσω της πώλησης των προϊόντων, είτε μέσω δημιουργίας θέσεων εργασίας. Όμως, πρέπει να τονισθεί ότι οι δυσκολίες για την ανάπτυξη τροφίμων στις στέγες είναι πολλές, καθώς από τη μία τα τρόφιμα είναι εκτεθειμένα σε πιο ακραίες καιρικές συνθήκες και από την άλλη το κόστος συντήρησης και επιλογής κατάλληλου υλικού για το υπόστρωμα ανάπτυξης αυτών είναι αυξημένο.

Παράδειγμα καλλιέργεια αποτελεί η 4000 m² οροφή ενός εστιατορίου, στην οποία παράγονται φρούτα, λαχανικά και βότανα, τα οποία χρησιμοποιούνται για ένα μενού που βασίζεται σε αυτές τις εποχιακές σοδειές. Ο σεφ Marco Suarez πρότεινε αυτή την ιδέα, η οποία πραγματοποιήθηκε στο Μπρούκλιν στη Νέα Υόρκη, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μια πράσινη στέγη που ενισχύει τη βιώσιμη ανάπτυξη (<http://www.greenroofs.org>).

3.8 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

3.8.1 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Οι πράσινες στέγες που είναι άνω των 83 kg/ m² (17 pounds per foot²), σε κατάσταση κορεσμού, απαιτείται να εξεταστούν ως προς την αντοχή τους από έναν πολιτικό μηχανικό με ειδικευση στη στατική ανάλυση κτιρίων (Peck & Kuhn, 2003).
- Οι επίπεδες στέγες, αυτές δηλαδή που έχουν κλίση έως 1.5% είναι πιο εύκολες ως προς την εγκατάστασή τους. Στις περιπτώσεις μεγάλης κλίσης ενδείκνυται η χρήση αποστραγγιστικού συστήματος με μεγάλη αποθηκευτική και μικρή αποστραγγιστική ικανότητα, καθώς και η χρήση ξηρανθεκτικών φυτών. Παράλληλα θα πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέτρα προστασίας για τη διάβρωση και την ολίσθηση (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).
- Στην αδιάβροχη στρώση, όταν χρησιμοποιείται μονολιθική μεμβράνη, τοποθετείται από πάνω προστατευτική μεμβράνη από τροποποιημένο ασφαλτικό. Ενώ, στην περίπτωση της θερμοπλαστικής μεμβράνης, το προστατευτικό είναι από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (FLL, 2002).
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις κάθετες απολήξεις της στέγης και στις θέσεις των Η/Μ μονάδων, οι οποίες θα πρέπει να διαχωριστούν από τις περιοχές φύτευσης σε υφιστάμενα κτίρια και είναι αναγκαίο να έχουν εύκολη πρόσβαση για τεχνικό έλεγχο και συντήρηση (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).
- Τόσο οι μεμβράνες στεγανοποίησης, όσο και οι μεμβράνες ελέγχου ριζών πρέπει να ελέγχονται για να εξασφαλίζεται η ανθεκτικότητά τους στην υδρόλυση (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

- Στα μεσογειακά κλίματα, η άρδευση είναι απαραίτητη για όλους τους τύπους φυτεμένων δωμαίων στις περιοχές όπου το υδατικό ισοζύγιο είναι αρνητικό και επικρατεί ξηρασία κατά τους θερινούς μήνες (<http://taratsokipos.blogspot.gr/>).

3.8.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Άρθρο 18

Φυτεμένα δώματα

1. Η κατασκευή φυτεμένων επιφανειών στα δώματα, στις στέγες και στους υπαίθριους χώρους, νέων, νομίμως υφισταμένων κτιρίων και κτιρίων των εδαφίων δ', ε' και στ' της παραγράφου 2 του άρθρου 23 του ν. 4014/ 2011, επιτρέπεται εφόσον δεν αντίκειται σε ειδικότερους όρους δόμησης που ισχύουν.

Το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών με τη διαστρωμάτωση των εξειδικευμένων υλικών, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 40 εκ. πάνω από το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος του κτιρίου.

Η βλάστηση που αναπτύσσεται επάνω σε αυτό δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 3,00 μ. Το είδος της βλάστησης, το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών, το σύστημα της πολυεπίπεδης διαστρωμάτωσης των εξειδικευμένων υλικών, καθώς και το αρδευτικό σύστημα, περιγράφεται σε τεχνική έκθεση, όπως ορίζεται στην παράγραφο.

2. Δεν επιτρέπεται η κατασκευή φυτεμένων επιφανειών επάνω στις απολήξεις των κλιμακοστασίων και τα φρεάτια των ανελκυστήρων. Η κατασκευή φυτεμένων επιφανειών στα δώματα, στις στέγες και στους υπαίθριους χώρους των κτιρίων πρέπει να μην προσβάλλει την αισθητική του κτιρίου και να εναρμονίζεται με τις υπόλοιπες κατασκευές που προβλέπονται σε αυτά, βάσει του άρθρου 19 του παρόντος. Ειδικά για τις στέγες, πρέπει η φυτεμένη επιφάνεια να ακολουθεί την κλίση τους, ώστε να μην αλλοιώνεται η μορφή του κτιρίου. Οι φυτεμένες επιφάνειες στα δώματα, τις στέγες και τους υπαίθριους χώρους των κτιρίων δεν αίρουν την υποχρέωση της παραγράφου 2 του άρθρου 17 του παρόντος.

2.α. Νέα κτίρια:

Για την κατασκευή φυτεμένων επιφανειών στα δώματα, στις στέγες και στους υπαίθριους χώρους κτιρίων που κατασκευάζονται με άδειες δόμησης, ακολουθούνται οι καθοριζόμενες διαδικασίες πληρότητας και ελέγχου του ν. 4030/2011 «Νέος τρόπος έκδοσης αδειών δόμησης, ελέγχου κατασκευών και λοιπές διατάξεις» (Α' 249), όπως ισχύει, με την πρόσθετη υποβολή τεχνικής έκθεσης κατασκευής Φυτεμένης Επιφάνειας δώματος ή στέγης ή υπαίθριου χώρου.

Η κατασκευή της φυτεμένης επιφάνειας συσχετίζεται με τις επί μέρους μελέτες του κτιρίου.

Η ανωτέρω τεχνική έκθεση συντάσσεται σύμφωνα με τις εκάστοτε ισχύουσες προδιαγραφές και κατευθυντήριες οδηγίες.

β. Υφιστάμενα κτίρια:

Για την κατασκευή φυτεμένων επιφανειών στα δώματα, στις στέγες και στους υπαίθριους χώρους υφιστάμενων κτιρίων, κατά την έννοια της παραγράφου 1, δεν απαιτείται οικοδομική άδεια ή έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας.

Για την κατασκευή φυτεμένων επιφανειών στα κτίρια της παρ. 1 του άρθρου 21 του ν. 4030/2011 απαιτείται σύμφωνη γνώμη του αρμόδιου Συμβουλίου Αρχιτεκτονικής.

Για τα κηρυγμένα διατηρητέα κτίρια ή νεώτερα μνημεία, απαιτείται επιπροσθέτως η σύμφωνη γνώμη του φορέα προστασίας τους.

Σε κάθε υπηρεσία δόμησης τηρείται ειδικό Μητρώο «Φυτεμένων Επιφανειών», που ενημερώνεται με τις κατά τα άνω υποβαλλόμενες γνωστοποιήσεις.

3. Το περιεχόμενο του φακέλου των δικαιολογητικών και οι επί μέρους προδιαγραφές σχεδίων και τεχνικής έκθεσης που υποβάλλονται στην αρμόδια υπηρεσία για την κατασκευή Φυτεμένης Επιφάνειας προσδιορίζεται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

3.9 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Παρόλο που τα συστήματα πράσινων στεγών έχουν αρκετά κοινά στοιχεία, δεν υπάρχουν σταθερές τιμές κόστους αυτών. Ακολουθώντας παρατίθενται δύο περιπτώσεις, ένας εκτατικός και ένας εντατικός τύπος πράσινης στέγης, με ενδεικτικές δαπάνες ανάλογα με κάθε ενέργεια. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερη η έκταση της πράσινης στέγης, τόσο πιο φθηνό το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο (Peck & Kuhn, 2003).

Μη επισκέψιμος εκτατικός τύπος πράσινης στέγης

- Σχεδιασμός και προδιαγραφές: Ο αριθμός και το είδος των συμβούλων εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του έργου. Αποτελεί το 5% έως 10% του συνολικού κόστους της πράσινης στέγης.
- Διοίκηση έργου και επιτόπια έρευνα: Ο αριθμός και το είδος των συμβούλων εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του έργου. Αποτελεί το 2,5% έως 5% του συνολικού κόστους της πράσινης στέγης.
- Μετασκευή με στρώμα ελέγχου ριζικού συστήματος: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι η υπάρχουσα οροφή που πρέπει να αφαιρεθεί, το σύστημα της πράσινης στέγης που θα επιλεγεί και η ευκολία όσον αφορά στην πρόσβαση σε αυτή. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 100 και 160 \$ / m².
- Σύστημα πράσινης στέγης: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι ο τύπος και το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης, το αποστραγγιστικό στρώμα, το διηθητικό φίλτρο και το μέγεθος του έργου. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 55 και 110 \$ / m².

- Βλάστηση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι το είδος της βλάστησης, το μέγεθος των φυτών και η περίοδος κατασκευής της πράσινης στέγης. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 11 και 32 \$ / m².
- Εγκατάσταση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι το μέγεθος του έργου, η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, οι τεχνικές φύτευσης και ο ενοικιαζόμενος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των υλικών. Η ενοικίαση ενός γερανού μπορεί να ανέλθει στην τιμή των 4000\$ την ημέρα. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 32 και 86 \$ / m².
- Συντήρηση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι το μέγεθος του έργου, η περίοδος που πραγματοποιείται η κατασκευή της πράσινης στέγης, το αρδευτικό σύστημα και το μέγεθος και ο τύπος των φυτών. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 13 και 21 \$ / m² για τα δύο πρώτα χρόνια μόνο.
- Αρδευτικό σύστημα: Είναι προαιρετικό εφόσον η πράσινη στέγη μπορεί να ποτίζεται χειροκίνητα. Το κόστος εξαρτάται από το αρδευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται και κυμαίνεται μεταξύ 21 και 43 \$ / m² (Peck & Kuhn, 2003).

Εντατικός τύπος πράσινης στέγης

- Σχεδιασμός και προδιαγραφές: Ο αριθμός και το είδος των συμβούλων εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του έργου. Αποτελεί το 5% έως 10% του συνολικού κόστους της πράσινης στέγης.
- Διοίκηση έργου και επιτόπια έρευνα: Ο αριθμός και το είδος των συμβούλων εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του έργου. Αποτελεί το 2,5% έως 5% του συνολικού κόστους της πράσινης στέγης.

- Μετασκευή με στρώμα ελέγχου ριζικού συστήματος: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι η υπάρχουσα οροφή που πρέπει να αφαιρεθεί, το σύστημα της πράσινης στέγης που θα επιλεγεί και η ευκολία όσον αφορά στην πρόσβαση σε αυτή. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 100 και 160 \$ / m².
- Σύστημα πράσινης στέγης: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι ο τύπος και το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης, το αποστραγγιστικό στρώμα, το διηθητικό φίλτρο, ο τύπος του καταστρώματος και το μέγεθος του έργου. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 160 και 320 \$ / m². Σημειώνεται ότι σε αυτό δεν περιλαμβάνονται ειδικά ανεξάρτητα κουτιά φύτευσης.
- Βλάστηση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι το είδος της βλάστησης, το μέγεθος των φυτών και η περίοδος κατασκευής της πράσινης στέγης. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 54 και 2.150 \$ / m².
- Εγκατάσταση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι το μέγεθος του έργου, η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, οι τεχνικές φύτευσης και ο ενοικιαζόμενος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των υλικών. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 85 και 195 \$ / m².
- Συντήρηση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι το μέγεθος του έργου, η περίοδος που πραγματοποιείται η κατασκευή της πράσινης στέγης, το αρδευτικό σύστημα και το μέγεθος και ο τύπος των φυτών. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 13,5 και 21,5 \$ / m²ετήσια.
- Αρδευτικό σύστημα: Το κόστος εξαρτάται από το αρδευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται και κυμαίνεται μεταξύ 21 και 43 \$ / m².

- **Περίφραξη:** Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι ο τύπος του φράχτη, η σύνδεση με την οροφή και το μέγεθος του έργου. Το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 65 και 130 \$ / m² (Peck, Kuhn, 2003).

3.9.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Κατά τη διάρκεια μιας μελέτης πραγματοποιήθηκε ανάλυση κόστους οφέλους για τρεις τύπους πράσινων στεγών: έναν εντατικό, έναν εκτατικό και έναν εκτατικό με υπόστρωμα τύπου C&D (construction and demolition waste). Η επένδυση εξετάστηκε τόσο από την πλευρά του ιδιώτη όσο και της κοινωνίας. Σημειώνεται ότι η καθαρά παρούσα αξία (NPV) εκφράστηκε σε μονάδες δολαρίων ανά τετραγωνικό μέτρο (\$/m²), το ποσοστό προεξόφλησης κυμάνθηκε από 2 έως 8%, ο πληθωρισμός από 1 έως 4% και ο χρόνος διάρκειας μιας πράσινης στέγης θεωρήθηκε ότι έχει εύρος από 40 έως 55 χρόνια.

Ιδιώτης:

Όσον αφορά στην αρχική επένδυση, έγινε η παραδοχή μιας ομοιόμορφης κατανομής. Επειδή οι ιδιοκτήτες και οι επενδυτές των πράσινων στεγών επωφελήθηκαν από την αύξηση της αντικειμενικής αξίας των οικοπέδων της περιοχής καθορίστηκαν νέες μεγαλύτερες τιμές αρχικής επένδυσης τόσο για την εντατική πράσινη στέγη όσο και για τις άλλες δύο εκτατικού τύπου. Επιπλέον, ορίστηκαν τα κέρδη λόγω της μείωσης της φορολογίας, που προβλέπεται από πολλές χώρες σε περίπτωση εγκατάστασης πράσινης στέγης, και λόγω τη μείωσης των δαπανών για θέρμανση και για ψύξη. Εν συνεχεία, λήφθηκε υπόψη το κόστος συντήρησης της πράσινης στέγης. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα δίνονται στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 3.11 έως 3.13):

Ιδιώτης

Πίνακας 3.11 Δεδομένα εισόδου για την εκτατικού τύπου πράσινη στέγη (Bianchini & Hewage, 2012)

Εκτατικός τύπος				
Δεδομένα	Αξία (\$/ m ²)		Συνάρτηση	Χρονικό διάστημα
Αρχικό κεφάλαιο	130	165	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Νέα αντικειμενική αξία	132,6	174	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση φορολογίας	0	48	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Κατακράτηση νερού	0	0,38	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Ψύξη	0,18	0,68	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Θέρμανση	0,22		Σταθερή	Ετήσιο
Μικρότερο κόστος υποδομής αποστραγγιστικού δικτύου	39	100	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Συντήρηση	0,65	13,46	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Μεγάλη διάρκεια ζωής	161,46		Σταθερή	Ανά 20 χρόνια

Πίνακας 3.12 Δεδομένα εισόδου για την εκτατικού τύπου πράσινη στέγη με υπόστρωμα C&D (Bianchini & Hewage, 2012)

Εκτατικός τύπος με υπόστρωμα C&D				
Δεδομένα	Αξία (\$ / m ²)		Συνάρτηση	Χρονικό διάστημα
Αρχικό κεφάλαιο	130	165	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Νέα αντικειμενική αξία	132,6	174	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση φορολογίας	0	48	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Κατακράτηση νερού	0	0,38	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Ψύξη	0,18	0,68	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Θέρμανση	0,22		Σταθερή	Ετήσιο
Μικρότερο κόστος υποδομής αποστραγγιστικού δικτύου	39	100	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Συντήρηση	0,65	13,46	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Μεγάλη διάρκεια ζωής	161,46		Σταθερή	Ανά 20 χρόνια

Πίνακας 3.13 Δεδομένα εισόδου για την εντατικού τύπου πράσινη στέγη (Bianchini & Hewage, 2012)

Εντατικός τύπος				
Δεδομένα	Αξία (\$ / m ²)		Συνάρτηση	Χρονικό διάστημα
Αρχικό κεφάλαιο	165	540	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Νέα αντικειμενική αξία	181,5	648	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση φορολογίας	0	48	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Κατακράτηση νερού	0	0,38	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Ψύξη	0,18	0,68	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Θέρμανση	0,22		Σταθερή	Ετήσιο
Μικρότερο κόστος υποδομής αποστραγγιστικού δικτύου	100	324	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Συντήρηση	0,7	13,5	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Μεγάλη διάρκεια ζωής	161,46		Σταθερή	Ανά 20 χρόνια

Κοινωνία:

Οι πράσινες στέγες συντελούν στη μείωση πολλών περιβαλλοντικών θεμάτων. Τόσο τα κόστη όσο και τα οφέλη περιγράφονται παρακάτω και οι τιμές αυτών δίνονται στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 3.14 έως 3.16). Το συνολικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανση θεωρήθηκε ίσο με το κόστος του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και των νιτρικών (NO_x). Επιπλέον, το κόστος για την υγειονομική ταφή υπολογίστηκε με βάση το χειρότερο δυνατό σενάριο κατά το οποίο τα διάφορα στρώματα της πράσινης στέγης μεταφέρονται στους χώρους υγειονομικής ταφής χωρίς να υποστούν καμία επεξεργασία. Τα οφέλη από τη μείωση του πλημμυρικού ρίσκου και του φαινομένου υπερθέρμανσης του πλανήτη, αλλά και αυτά που προκύπτουν από τη δημιουργία ενδιαιτημάτων, χώρων αναψυχής καθώς και αυτά λόγω της βελτίωσης της αισθητικής του τόπου ποσοτικοποιήθηκαν για όλους τους υπό εξέταση τύπους πράσινης στέγης.

Κοινωνία

Πίνακας 3.14 Δεδομένα εισόδου για την εκτατικού τύπου πράσινη στέγη (Bianchini & Hewage, 2012)

Εκτατικός τύπος				
Δεδομένα	Αξία(\$/ m ²)		Συνάρτηση	Χρονικό διάστημα
Προκαλούμενη Ατμοσφαιρική Ρύπανση	14,06	22,2	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση Διοξειδίου του άνθρακα	$1,44 \times 10^{-4}$	$1,70 \times 10^{-4}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Βελτίωση ποιότητας αέρα	$2,65 \times 10^{-2}$	$3,13 \times 10^{-2}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Μικρότερο κόστος υποδομής αποστραγγιστικού δικτύου	8	26	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση πλημμυρικού κινδύνου	0	$2,4 \times 10^{-3}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Δημιουργία ενδιατημάτων	0	10,2	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Δημιουργία χώρων αναψυχής	-	-	-	-
Μείωση φαινομένου θερμικής νησίδας	$8,3 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Αισθητική	2,6	8,3	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Έξοδα υγειονομικής ταφής	$8,9 \times 10^{-3}$	0,2	Ομοιόμορφη	Μία φορά

Πίνακας 3.15 Δεδομένα εισόδου για την εκτατικού τύπου πράσινη στέγη με υπόστρωμα C&D (Bianchini & Hewage, 2012)

Εκτατικός τύπος με υπόστρωμα C&D				
Δεδομένα	Αξία(\$/ m ²)		Συνάρτηση	Χρονικό διάστημα
Προκαλούμενη Ατμοσφαιρική Ρύπανση	3,2		Σταθερή	Μία φορά
Μείωση Διοξειδίου του άνθρακα	1,44×10 ⁻⁴	1,70×10 ⁻⁴	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Βελτίωση ποιότητας αέρα	2,65×10 ⁻²	3,13×10 ⁻²	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Μικρότερο κόστος υποδομής αποστραγγιστικού δικτύου	8	26	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση πλημμυρικού κινδύνου	0	2,4×10 ⁻³	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Δημιουργία ενδιαιτημάτων	0	10,2	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Δημιουργία χώρων αναψυχής	-	-	-	-
Μείωση φαινομένου θερμικής νησίδας	8,3×10 ⁻³	1,7×10 ⁻²	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Αισθητική	2,6	8,3	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Έξοδα υγειονομικής ταφής	2×10 ⁻³	0,03	Ομοιόμορφη	Μία φορά

Πίνακας 3.16 Δεδομένα εισόδου για την εντατικού τύπου πράσινη στέγη (Bianchini & Hewage, 2012)

Εντατικός τύπος				
Δεδομένα	Αξία(\$/ m ²)		Συνάρτηση	Χρονικό διάστημα
Προκαλούμενη Ατμοσφαιρική Ρύπανση	5,9	14,06	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση Διοξειδίου του άνθρακα	$1,44 \times 10^{-4}$	$1,70 \times 10^{-4}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Βελτίωση ποιότητας αέρα	$2,65 \times 10^{-2}$	$3,13 \times 10^{-2}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Μικρότερο κόστος υποδομής αποστραγγιστικού δικτύου	8	26	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση πλημμυρικού κινδύνου	0	$2,4 \times 10^{-3}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Δημιουργία ενδιαιτημάτων	0	20,4	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Δημιουργία χώρων αναψυχής	6	14	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Μείωση φαινομένου θερμικής νησίδας	$8,3 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	Ομοιόμορφη	Ετήσιο
Αισθητική	8,3	43,2	Ομοιόμορφη	Μία φορά
Έξοδα υγειονομικής ταφής	$2,7 \times 10^{-4}$	0,13	Ομοιόμορφη	Μία φορά

Εν συνεχεία, κατασκευάστηκαν ιστογράμματα και διαγράμματα αθροιστικής συνάρτησης πυκνότητας και προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα για την πιο πιθανή τιμή του οφέλους σε δολάρια ανά τετραγωνικά μέτρα (\$/m²):

Πίνακας 3.17 Αποτελέσματα για την πιο πιθανή τιμή του οφέλους σε δολάρια ανά τετραγωνικά μέτρα ($\$/m^2$) για κάθε τύπο στέγης από την πλευρά του ιδιώτη, της κοινωνίας και του συνδυασμού τους (Bianchini & Hewage, 2012)

Τύπος	Ιδιώτης	Κοινωνία	Ιδιώτης και Κοινωνία
Εκτατική	291 ($\$/m^2$)	21 ($\$/m^2$)	400 ($\$/m^2$)
Εκτατική με S & D	291 ($\$/m^2$)	32 ($\$/m^2$)	495 ($\$/m^2$)
Εντατική	611 ($\$/m^2$)	62 ($\$/m^2$)	696 ($\$/m^2$)

Σημειώνεται ότι τα τρία σενάρια για όλους τους τύπους των πράσινων στεγών είναι πιθανό να έχουν και αρνητικά αποτελέσματα. Στον πίνακα 3.18 καταγράφηκαν οι πιθανότητες και τα ποσά των απωλειών που προέκυψαν από τα διαγράμματα.

Πίνακας 3.18 Οι τιμές των απωλειών και οι αντίστοιχες πιθανότητες για κάθε τύπο στέγης από την πλευρά του ιδιώτη, της κοινωνίας και του συνδυασμού τους (Bianchini & Hewage, 2012)

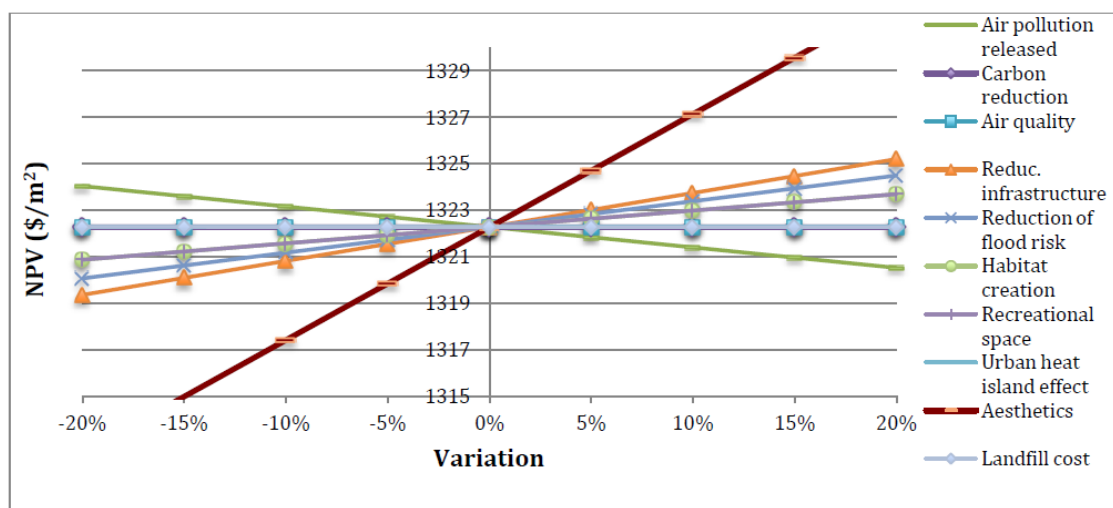
Τύπος	Ιδιώτης	Κοινωνία	Ιδιώτης και κοινωνία
Εκτατική	0.82% - 25 $\$/m^2$	1.1% - 91 $\$/m^2$	0.34% - 10 $\$/m^2$
Εκτατική με S & D	0.82% - 25 $\$/m^2$	-	-
Εντατική	1% - 346 $\$/m^2$	-	0.03% - 161 $\$/m^2$

Όσον αφορά στην περίοδο αποπληρωμής, τα αποτελέσματα τόσο από την πλευρά του ιδιώτη όσο και από την πλευρά της κοινωνίας παρατίθενται στον πίνακα 3.19.

Πίνακας 3.19 Περίοδος αποπληρωμής για κάθε τύπο στέγης από την πλευρά του ιδιώτη, της κοινωνίας και του συνδυασμού τους (Bianchini & Hewage, 2012)

Τύπος	Ιδιώτης	Ιδιώτης και Κοινωνία
Εκτατική	4,6	4,2
Εκτατική με S & D	4,6	4
Εντατική	6	5,7

Στην εικόνα 3.25 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας, η οποία πραγματοποιήθηκε για τα κοινωνικά οφέλη των πράσινων στεγών. Παρατηρείται ότι η πλειοψηφία του κόσμου θεωρεί τους αισθητικούς λόγους, τους πλέον σημαντικούς, για την κατασκευή μιας πράσινης στέγης σε αντίθεση με την βελτίωση της ποιότητας του αέρα και με το κόστος υγειονομικής ταφής (Bianchini & Hewage, 2012).



Εικόνα 3.25 Ανάλυση ευαισθησίας για διάφορους κοινωνικούς παράγοντες (Bianchini & Hewage, 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

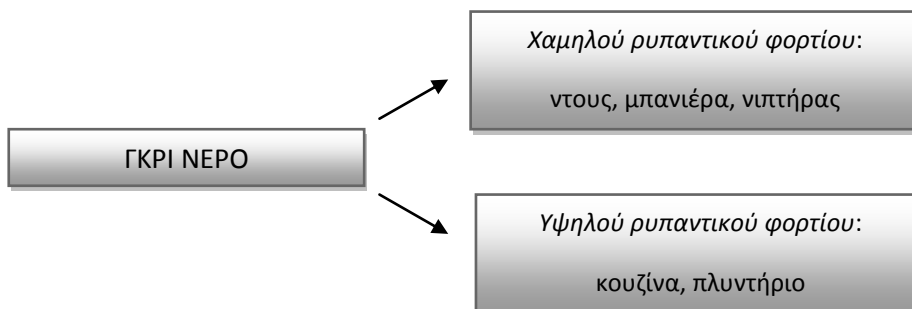
4 ΓΚΡΙ ΝΕΡΟ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το γκρι νερό (greywater) αποτελεί τμήμα των οικιακών λυμάτων (περίπου 50 – 80% αυτών), εξαιρουμένου του νερού της τουαλέτας γνωστού και ως μαύρο νερό (blackwater). Συγκεκριμένα, το γκρι νερό προέρχεται από το ντους, τη μπανιέρα, το νεροχύτη, το πλυντήριο ρούχων, την κουζίνα καθώς και από το πλυντήριο πιάτων (Jefferson et al.,1999, Eriksson, 2002). Σημειώνεται ότι δύναται να περιέχει συστατικά όπως τρίχες, σαπούνι, σαμπουάν, οδοντόκρεμα καθώς και υπολείμματα τροφών και μαγειρικά έλαια.

Το γκρι νερό που παράγεται σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο ζωής των ατόμων που στεγάζονται στο κτίριο, των προϊόντων που χρησιμοποιούν, αλλά και των συσκευών. Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά του ποικίλουν και εξαρτώνται κυρίως από την ποιότητα του πόσιμου νερού, το δίκτυο ύδρευσης και διανομής του γκρι νερού καθώς και από τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στο εκάστοτε κτίριο. (Eriksson, 2002).

Ένας διαχωρισμός αυτού γίνεται ανάλογα με την πηγή προέλευσης του. Έτσι το γκρι νερό χωρίζεται σε χαμηλού και υψηλού ρυπαντικού φορτίου (εικόνα 4.1). Λεπτομερώς, τα λύματα της κουζίνας περιέχουν υψηλότερα επίπεδα λιπών, γράσων και οργανικής ύλης συγκριτικά με αυτά του μπάνιου, με αποτέλεσμα να είναι πιο επιβαρυνμένα και να μην χρησιμοποιούνται για επαναχρησιμοποίηση (FBR, 2005).



Εικόνα 4.1 Διαχωρισμός γκρι νερού (FBR, 2005)

4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι έρευνες για την επεξεργασία και την ανακύκλωση των οικιακών λυμάτων έχουν ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1970. Οι πρώτες υπό μελέτη τεχνολογίες επεξεργασίας του γκρι νερού αφορούσαν κυρίως τη φυσική επεξεργασία αυτού, είτε μέσω της χονδροειδούς διήθησης είτε μέσω κατάλληλων μεμβρανών συνδυαζόμενων πολλές φορές και με μια διεργασία απολύμανσης (Hall et al., 1974). Αργότερα, κατά τη χρονική περίοδο 1980 με 1990, εξετάστηκαν τεχνολογίες βιολογικής επεξεργασίας, όπως είναι ο περιστρεφόμενος βιολογικός αντιδραστήρας, τα αερόβια βιολογικά φίλτρα και οι αερόβιοι βιοαντιδραστήρες. Παράλληλα, τα απλά συστήματα διαχωρισμού και απολύμανσης αναπτύχθηκαν και εγκαταστάθηκαν σε επίπεδο κατοικίας. Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1990 εμφανίστηκαν πιο εξελιγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας του γκρι νερού, όπως είναι οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) και άλλες πιο φτηνές, αλλά μεγαλύτερες σε έκταση τεχνολογίες, όπως τα συστήματα με καλαμώνες και λίμνες (Andersen et al., 2001). Όσον αφορά στις χημικές διεργασίες για την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού, τρεις μόνο έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία: η φωτοκατάλυση, η ηλεκτρική κροκίδωση και η συμβατική κροκίδωση (Pidou et al., 2007).

Σημειώνεται ότι συστήματα ανακύκλωσης γκρι νερού έχουν βρεθεί στα περισσότερα μέρη ανά τον κόσμο. Παρόλα αυτά, δεν έχει εντοπιστεί συγκεκριμένη τάση μεταξύ των τύπων επεξεργασίας και των περιοχών. Ίσως είναι πιθανό να υπάρχει μια προτίμηση στις οικονομικές τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης, τόσο όσον αφορά στην εγκατάσταση όσο και στη συντήρησή τους, από τις φτωχότερες χώρες. Για παράδειγμα, στην Κόστα Ρίκα διερευνήθηκε η χρήση θραυσμάτων πλαστικού (PET) από μπουκάλια νερού σε κατασκευασμένους βάλτους, όντας πολύ οικονομική λύση. Αντίστοιχα, στο Τζόρνταν κατασκευάστηκε ένα σύστημα επαναχρησιμοποίησης νερού που αποτελούνταν από πλαστικά βαρέλια. Τέλος, στο Ομάν, σχεδιάστηκε ένα χαμηλού κόστους σύστημα, τόσο στην κατασκευή όσο και στη συντήρησή του, το οποίο χρησιμοποιούσε τεχνολογίες ενεργού άνθρακα, αμμόφιλτρων και απολύμανσης με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση του νερού σε ένα τζαμί (Pidou et al., 2007).

4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

Το γκρι νερό πρέπει να συμβαδίζει με τους κανονισμούς που διέπουν την ποιότητα του νερού ανάλογα με τη χρήση. Ο όρος ποιότητα νερού καλύπτει τόσο τη φυσική όσο και τη χημική και βιολογική του ποιότητα (ΕΡΑ, 1992).

4.3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Πρέπει να υπολογιστεί η θολότητα (πόσο καθαρό είναι το νερό), τα αιωρούμενα στερεά που βρίσκονται στο νερό και η θερμοκρασία αυτού. Από διάφορες μελέτες έχει αποδειχτεί ότι ο αριθμός των αιωρούμενων στερεών είναι μεγαλύτερος στις εκροές του πλυντηρίου ρούχων και της κουζίνας (πλυντήριο πιάτων και νεροχύτης). Όσον αφορά στη θερμοκρασία, σημειώνεται ότι η σχετικά υψηλή θερμοκρασία είναι πιθανό να προκαλέσει τη δημιουργία μικροοργανισμών, καθώς αποτελεί ευνοϊκό παράγοντα για την ανάπτυξη αυτών (Ριδου, 2006).

4.3.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Πρέπει να υπολογιστεί το pH (πόσο αλκαλικό ή όξινο είναι το νερό), το υπολειμματικό χλώριο ή βρώμιο (πόσο απολυμαντικό έχει παραμείνει), το BOD και το COD, το άζωτο, ο φώσφορος και άλλα μέταλλα. Το pH του γκρι νερού εξαρτάται από το pH και την αλκαλικότητα του νερού του δικτύου (Ριδου, 2006).

4.3.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Πρέπει να υπολογιστούν οι ποσότητες των ιών και των βακτηρίων. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται κάποιες τιμές μικροβιολογικών και βιολογικών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του νερού και έχουν προταθεί από διάφορους μελετητές.

Πίνακας 4.1 Βιολογικές και μικροβιολογικές τιμές παραμέτρων ανάλογα με την πηγή προέλευσης του νερού (Ottoson, 2003 μετά από προσαρμογή)

Προέλευση	Ολικά κολοβακτηρίδια	Θερμοανθεκτικά κολοβακτηρίδια	E. Coli	Εντερόκοκοι	Βιβλιογραφία
Μπανιέρα, νιπτήρας	-	-	4,4	1 – 5,4	Albrechsten (1998)
Πλυντήριο	3,4 – 5,5	2 - 3		1,4 – 3,4	Christova – Boal et al. (1996)
Ντους, νιπτήρας	2,7 – 7,4	2,2 – 3,5		1,9 – 3,4	Christova – Boal et al. (1996)
Ανάμικτη χρήση	7,9	5,8		2,4	Casanova et al. (2001)
Ντους, μπανιέρα	1,8 – 3,9	0 – 3,7		0 – 4,8	Feachem et al. (1983)
Πλυντήριο(πλύσης)	1,9 – 5,9	1 – 4,2		1,5 – 3,9	Feachem et al. (1983)
Πλυντήριο(ξέβγαλμα)	2,3 – 5,2	0 – 5,4		0 – 6,1	Feachem et al. (1983)
Ανάμικτη χρήση	7,2 – 8,8				Gerba et al. (1995)
Νιπτήρας, νεροχύτης		5		4,6	Gunther (2000)
Γκρι νερό, 79% ντους	7,4	4,3 – 6,9			Rose et al. (1991)
Νεροχύτης		7,6	7,4	7,7	Naturvardsverket (1995)
Ανάμικτη χρήση		5,8	5,4	4,6	Naturvardsverket (1995)

Το γκρι νερό ύστερα από την εκάστοτε επεξεργασία είναι αναγκαίο να πληροί τέσσερα κριτήρια:

- Ασφάλεια όσον αφορά στην υγιεινή
- Αισθητική
- Περιβαλλοντική ανοχή
- Οικονομοτεχνική σκοπιμότητα (Nolde, 1999).

Στις περισσότερες χώρες, οι κατευθυντήριες οδηγίες και τα πρότυπα είτε δεν υπάρχουν είτε αναθεωρούνται και επεκτείνονται. Το 1992, η Αμερικάνικη υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος (EPA), δημοσίευσε τις οδηγίες «Guidelines for water quality», όπου περιγράφονται τα στάδια επεξεργασίας, οι απαιτήσεις όσον αφορά στην ποιότητα του νερού και τα μέσα ελέγχου. Το μετά επεξεργασίας γκρι νερό έπρεπε να μην είχε ανιχνεύσιμα κολοβακτηρίδια στα 100 ml του, η τιμή του BOD έπρεπε να είναι μικρότερη των 10 mg / L και αυτή του υπολειμματικού Cl₂ μεγαλύτερη του 1 mg / L.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα κατώτατα όρια διαφόρων παραμέτρων του γκρι νερού που ισχύουν σε ορισμένες χώρες (Pidou, 2006).

Πίνακας 4.2 Κατώτατα όρια φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του γκρι νερού για διάφορες χώρες (Pidou et al, 2007 μετά από προσαρμογή)

Χώρα	Συσκευή	BOD ₅ (mg/l)	TSS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	FC (cfu/100ml)	TC (cfu/100ml)
Ιαπωνία	Καζανάκια	-	-	<2	-	Μη ανιχνεύσιμο
	Χώρος αναψυχής	-	-	<2	-	<1000
Ισραήλ	Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	10	10	-	<1	-
Ισπανία	Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	10	3	2	-	2.2
Καλιφόρνια (USA)	Απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού	-	-	Μέσο: 2 Max: 5	-	Μέσο: 2.2 Max: 23 σε 30 μέρες
Φλόριντα (USA)	Απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού	20	5	-	25% μη ανιχνεύσιμο Max: 25	-
Αυστραλία	Επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού για πότισμα κήπων σε περιοχές χωρίς υπονόμους	20	30	-	-	100
Καναδάς	Απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού	10	5	2	2.2	-

4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Οι κατοικίες που θα κατασκευάζονται στο μέλλον θα πρέπει να είναι πιο αποτελεσματικές όσον αφορά στον τρόπο που χρησιμοποιείται το νερό για τις διάφορες λειτουργίες αυτών. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μιας σύγχρονης κατοικίας στην οποία δεν πραγματοποιείται επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού (πίνακας 4.3) και της αντίστοιχης με επαναχρησιμοποίηση (πίνακας 4.4) (Defra, 2008).

Πίνακας 4.3 Κατανάλωση νερού σε ένα σημερινό τυπικό σπίτι χωρίς επαναχρησιμοποίηση (Defra, 2008 μετά από προσαρμογή)

Κατανάλωση νερού σε ένα σημερινό τυπικό σπίτι χωρίς επαναχρησιμοποίηση		
Συσκευή	Κατανάλωση	Ημερήσια Κατανάλωση
Τουαλέτα (single flush)	6 L	28,8 L
Βρύση νιπτήρα	4 L / min	14,11 L
Ντους	10 L / min	30 L
Μπανιέρα	180 L	28,8 L
Βρύση νεροχύτη	8 L / min	28,22 L
Πλυντήριο ρούχων	49 L	16,66 L
Πλυντήριο πιάτων	13 L	3,9 L
Επαναχρησιμοποίηση	-	-
Σύνολο	-	150,49 L/ p /d

Πίνακας 4.4 Κατανάλωση νερού στο αντίστοιχο σπίτι με επαναχρησιμοποίηση (Defra, 2008 μετά από προσαρμογή)

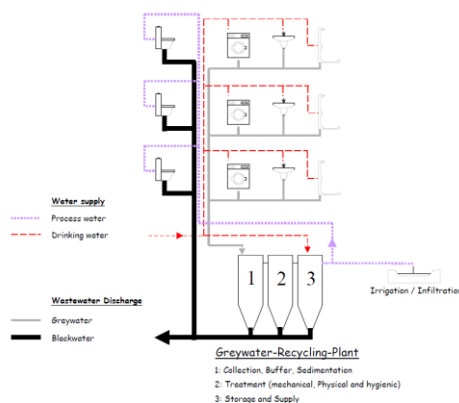
Κατανάλωση νερού στο αντίστοιχο σπίτι με επαναχρησιμοποίηση			
Συσκευή	Κατανάλωση	Επαναχρησιμοποίηση	Ημερήσια Κατανάλωση
Τουαλέτα (dual flush)	4 / 2,6 L	6,33+8,36=14,69 L	14,69 L
Βρύση νιπτήρα	6 L / min		15,87 L
Ντους	7,75 L / min		23,25 L
Μπανιέρα	120 L		19,2 L
Βρύση νεροχύτη	7 L / min		18,52 L
Πλυντήριο ρούχων	40 L	13,6 L	13,6 L
Πλυντήριο πιάτων	10 L		3
Επαναχρησιμοποίηση	100m ² στέγη, 0,6m ετήσια βροχή, 3 άτομα	-	-28,29 L
Σύνολο	-	28,29 L	79,84 L/ p/ d

Είναι αξιοσημείωτο ότι με την επαναχρησιμοποίηση του νερού δύναται να μειωθεί η κατανάλωση πόσιμου νερού σε ποσοστό περίπου 40%. Επιπλέον, σημειώνεται ότι στη δεύτερη περίπτωση η κατοικία θα μπορούσε να φτάσει και το επίπεδο 5 σύμφωνα με τον κώδικα για αειφόρα σπίτια όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.5 (Communities and Local Government, 2010).

Πίνακας 4.5 Κατώτατα όρια για κάθε επίπεδο βάσει του κώδικα για αειφόρα σπίτια (Communities and Local Government, 2010 μετά από προσαρμογή)

Code for sustainable homes	
Επίπεδο	Κατώτατο όριο (L / p / d)
1	120
2	120
3	105
4	105
5	80
6	80

Στην εικόνα 4.2 διαφαίνεται ένα σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε επίπεδο κατοικιών. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται επεξεργασία του νερού που προέρχεται από το νιπτήρα, το ντους και το πλυντήριο ρούχων και επαναχρησιμοποίηση του για τη χρήση του στα καζανάκια και στην άρδευση. Στην πρώτη δεξαμενή συλλέγεται το νερό, στην επόμενη πραγματοποιείται κάποια επεξεργασία (φυσική, χημική ή βιολογική) και έπειτα γίνεται αποθήκευση αυτού με στόχο την τροφοδοσία σε καθορισμένα σημεία όπως στις τουαλέτες και στο πότισμα (FBR, 2005).



Εικόνα 4.2 Σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε επίπεδο κατοικιών (FBR, 2005)

4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Γενικά, υπάρχουν δύο συστήματα σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται ευρέως για τη διανομή του νερού στις διάφορες συσκευές του σπιτιού, τα άμεσα και τα έμμεσα.

➤ Άμεσα συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα το νερό αντλείται απευθείας από τη δεξαμενή και μεταφέρεται άμεσα στα σημεία χρήσης, όπως είναι τα καζανάκια και οι έξω βρύσες. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση βλάβης σε κάποιον αισθητήρα ή σε κάποια αντλία ή σε πιθανή διακοπή ρεύματος το νερό δε δύναται να φτάσει στις διάφορες συσκευές που έχει προγραμματιστεί να τροφοδοτεί. Παράλληλα, ούτε το εφεδρικό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί τότε, καθώς αυτό τροφοδοτείται από την ίδια δεξαμενή και χρειάζεται παράλληλα αντλία για τη μεταφορά του. Τονίζεται ότι αυτό αποτελεί και την Αχίλλειο Πτέρνα του άμεσου συστήματος. Από την άλλη πλευρά, τα πλεονεκτήματα αυτού είναι η εύκολη εγκατάσταση του και ο μικρότερος χώρος που καταλαμβάνει, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον άντληση, όπως στις περιπτώσεις των δεξαμενών που τοποθετούνται ψηλά.

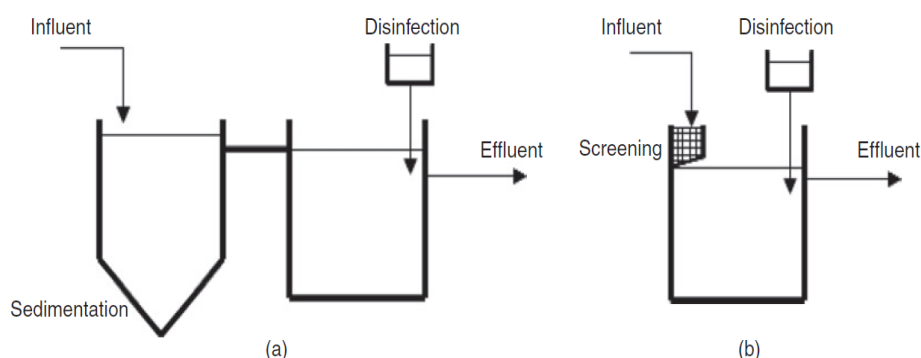
➤ Έμμεσα συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα το νερό αντλείται από τη δεξαμενή και μεταφέρεται σε μια άλλη ενδιάμεση δεξαμενή, η οποία βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο, όπως για παράδειγμα η οροφή ενός κτιρίου. Έπειτα, με τη δύναμη της βαρύτητας μεταφέρεται άμεσα στα σημεία χρήσης, όπως είναι τα καζανάκια και οι έξω βρύσες. Σε αντίθεση με τα άμεσα συστήματα, το εφεδρικό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή διακοπής ρεύματος, καθώς αυτό μεταφέρεται από την ενδιάμεση δεξαμενή. Ιδιαίτερη προσοχή για τη διασφάλιση της λειτουργίας πρέπει να δοθεί στη σωληνοειδή βαλβίδα του συστήματος, η οποία μπορεί να είναι και χειροκίνητη. Το μειονέκτημα τους είναι ότι παρέχουν χαμηλή πίεση και ρυθμό ροής στα διάφορα σημεία τροφοδοσίας, γεγονός που δύναται να ξεπεραστεί με έναν κατάλληλο σχεδιασμό (<http://www.wras.co.uk>).

4.6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

4.6.1 ΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

Τα απλά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ανακύκλωση του γκρι νερού είναι συνήθως δύο σταδίων και βασίζονται στη χονδροειδή διήθηση ή καθίζηση, που έχουν ως στόχο την απομάκρυνση των μεγαλύτερων στερεών από το νερό, και έπειτα την απολύμανση αυτού (Pidou et al., 2007). Στην εικόνα 4.3 παρουσιάζονται οι δύο πιο συνηθισμένες διατάξεις αυτών των συστημάτων. Σημειώνεται ότι έχει καταγραφεί ένα ακόμη πιο απλό σύστημα από αυτό που περιγράφεται παραπάνω, το οποίο αποτελείται από ένα χονδροειδές φίλτρο ή μια δεξαμενή καθίζησης. Αυτή η τεχνολογία όμως, παρατηρήθηκε στη Δυτική Αυστραλία, όπου οι κανονισμοί επιτρέπουν τη χρήση του γκρι νερού για υπόγεια άρδευση μετά από μικρή επεξεργασία αυτού (Mars, 2004).



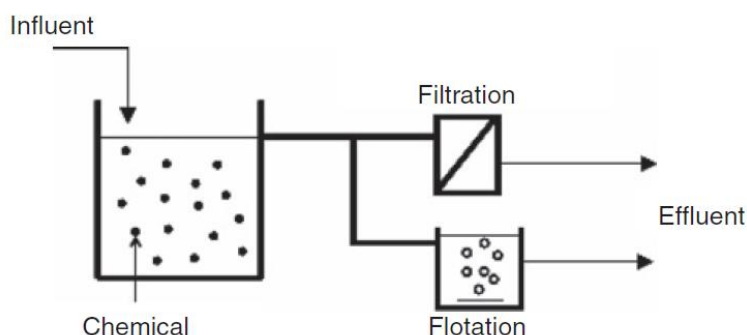
Εικόνα 4.3 Διατάξεις απλών συστημάτων με απολύμανση και (α) καθίζηση (β) εσχάρωση (Pidou et al., 2007)

Οι απλές τεχνολογίες παρέχουν περιορισμένη επεξεργασία του γκρι νερού όσον αφορά στα στερεά και στα οργανικά. Συγκεκριμένα, έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία μέσα ποσοστά απομάκρυνσης του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), των αιωρούμενων στερεών (SS) και της θολότητας 70%, 56% και 49% αντίστοιχα.

Τα απλά συστήματα προτιμάται να χρησιμοποιούνται σε μικρή κλίμακα, όπως είναι αυτή του νοικοκυριού, και ειδικότερα, για την επεξεργασία γκρι νερού μικρού σχετικά ρυπαντικού φορτίου, το οποίο προέρχεται από τα ντους, τη μπανιέρα και τους νιπτήρες. Η προκύπτουσα εκροή δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο για τα καζανάκια όσο και για την άρδευση. Λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες για την υδραυλική απόδοση αυτής της απλής τεχνολογίας. Ιδιαίτερη προσοχή όμως πρέπει να δοθεί στο χρόνο κατακράτησης (HRT), ο οποίος είναι αναγκαίο να είναι μικρός για την αποφυγή ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών (Pidou et al., 2007).

4.6.2 ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

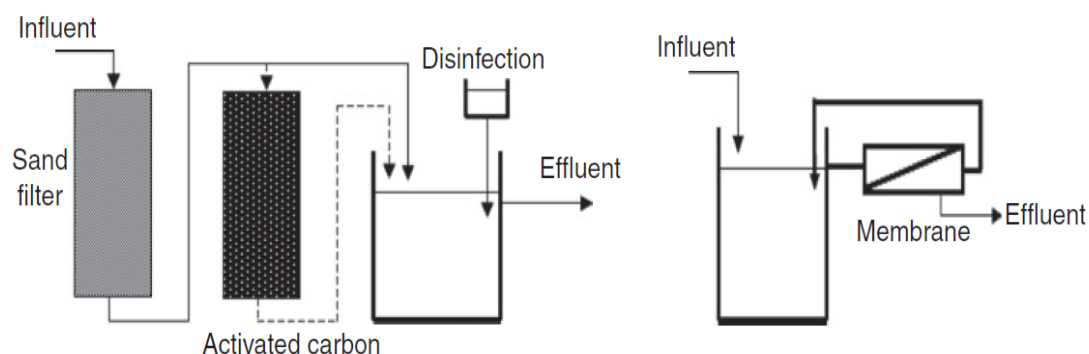
Η τεχνολογία που βασίζεται στις χημικές διεργασίες δεν έχει αναλυθεί εκτενώς. Παρακάτω αναφέρονται δύο συστήματα που βασίζονται στην κροκίδωση με χρήση αργιλίου. Το πρώτο σύστημα χρησιμοποιούσε συνδυασμό κροκίδωσης – διήθησης από στρώμα άμμου και κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC) για την επεξεργασία του γκρι νερού πλυτηρίων ρούχων (Sostar- Turk et al., 2005). Το δεύτερο συνδύαζε τις διεργασίες της ηλεκτρικής κροκίδωσης και της απολύμανσης για την επεξεργασία γκρι νερού χαμηλής περιεκτικότητας σε ρύπους. Τέλος, μια άλλη χημική τεχνολογία βασίζεται στη φωτοχημική οξείδωση με διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) και υπεριώδη ακτινοβολία. Στην εικόνα 4.4 φαίνεται μια τυπική διάταξη ενός χημικού συστήματος (Parsons et al., 2000).



Εικόνα 4.4 Τυπική διάταξη χημικού συστήματος επεξεργασίας γκρι νερού (Pidou et al., 2007)

4.6.3 ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

Τα φυσικά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτά με αμμόφιλτρα και σε αυτά με μεμβράνες. Στην εικόνα 4.5 που παρατίθεται παρακάτω παρουσιάζονται δύο τυπικές διατάξεις φυσικών συστημάτων, η πρώτη αποτελείται από αμμόφιλτρο, ενώ η δεύτερη από μεμβράνες (Pidou et al., 2007).



Εικόνα 4.5 Τυπικές διατάξεις φυσικών συστημάτων με (α) αμμόφιλτρο και (β) μεμβράνη (Pidou et al., 2007)

Τα αμμόφιλτρα μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε αυτοτελώς, είτε σε συνδυασμό με μια διεργασία απολύμανσης, είτε μαζί με ενεργό άνθρακα και απολύμανση. Όταν αποτελούν το μοναδικό σύστημα επεξεργασίας, τα αμμόφιλτρα παρέχουν μια χονδροειδή διήθηση του γκρι νερού. Συνεπώς, σε αυτή την περίπτωση, επιτυγχάνουν περιορισμένη επεξεργασία του οργανικού φορτίου, αντίστοιχη με αυτή των απλών συστημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω. Σημειώνεται ότι όταν τα φυσικά συστήματα αποτελούνται από αμμόφιλτρα και ένα στάδιο απολύμανσης παρατηρείται βελτίωση μόνο στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών. Τέλος, επισημαίνεται ότι τα αμμόφιλτρα σε συνδυασμό με ενεργό άνθρακα και απολύμανση δεν οδηγούν σε ιδιαίτερη βελτίωση όσον αφορά στην απομάκρυνση των στερεών που περιέχει το γκρι νερό (Hynes et al., 1975, Prathapar et al., 2006).

Από την άλλη πλευρά, τα φυσικά συστήματα που περιέχουν μεμβράνες, ενώ παρέχουν περιορισμένη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, όσον αφορά στην απομάκρυνση των διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών, η απόδοσή τους είναι

εξαιρετική. Σημειώνεται, ότι έχουν καταγραφεί απομακρύνσεις έως και 100%, για τη θολότητα και τα αιωρούμενα στερεά, με αντίστοιχες υπολειμματικές συγκεντρώσεις 2 NTU και 10 mg/ L αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές είναι επαρκείς και για τα πιο αυστηρά όρια επαναχρησιμοποίησης του γκρι νερού (Pidou et al., 2007). Άλλες καταγεγραμμένες τιμές είναι οι τιμές υπολειπόμενου BOD 86 mg/ L (Birks, 1998) και 53 mg/ L (Sostar – Turk et al., 2005), ύστερα από επεξεργασία με μεμβράνες υπερδιήθησης (UF), οι οποίες βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού.

Στα συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού με μεμβράνες πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης. Συγκρίθηκε η απόδοση μιας μεμβράνης νανοδιήθησης (NF – 0,2kDa) σε σχέση με την αντίστοιχη λειτουργία τριών μεμβρανών υπερδιήθησης (UF), των οποίων τα μεγέθη πόρων ήταν 30, 200 και 400 kDa, όσον αφορά στην επεξεργασία νερού από ντους. Τα αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του πόρου, τόσο καλύτερη δύναται να είναι η επεξεργασία του γκρι νερού, ειδικά στην περίπτωση της απομάκρυνσης των οργανικών ενώσεων. Σημειώνεται ότι δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές αναφορικά με την θολότητα (Ramon et al, 2004).

Τέλος, τονίζεται ότι το μεγαλύτερο μειονέκτημα των φυσικών συστημάτων αποτελούμενων με μεμβράνες είναι η πιθανότητα έμφραξης. Το γεγονός αυτό επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος και έχει σημαντική αύξηση στο κόστος συντήρησης, καθώς είναι αναγκαίος ο τακτικός καθαρισμός τους. Διάφορες μελέτες κατέληξαν στο γεγονός ότι δεν παρατηρείται έμφραξη, σε περιπτώσεις μικρού χρόνου λειτουργίας ή σε περιπτώσεις όπου καταγράφεται χαμηλή περιεκτικότητα οργανικού υλικού στο προς επεξεργασία γκρι νερό (Sostar – Turk et al., 2005).

4.6.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

Ένα ευρύ φάσμα βιολογικών διεργασιών έχει χρησιμοποιηθεί για την ανακύκλωση γκρι νερού όπως:

- Αντιδραστήρες σταθερής κλίνης
- Συστήματα βιολογικών δίσκων (RBC)
- Αναερόβια φίλτρα
- Συστήματα διακοπτόμενης λειτουργίας (SBR) (Pidou et al., 2007).
- Βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR)
- Αερόβια βιολογικά φίλτρα (BAF)

Τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού δεν λειτουργούν αυτοτελώς, εκτός από περιορισμένες περιπτώσεις, για τη διερεύνηση τους σε πιλοτική φάση. Τις περισσότερες φορές συνδυάζονται με ένα στάδιο φυσικής προεπεξεργασίας, είτε μέσω της καθίζησης είτε μέσω της εκσχάρωσης, και ακολουθούνται από ένα στάδιο απολύμανσης. Επιπλέον, δύναται να χρησιμοποιηθούν μαζί με αμμόφιλτρα, ενεργό άνθρακα, τεχνητούς υγροβιότοπους και μεμβράνες (Pidou et al., 2007).

Τα συστήματα βιολογικών δίσκων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του γκρι νερού απαιτούν ένα αρχικό στάδιο καθίζησης και ένα τελικό στάδιο διεργασιών για την απομάκρυνση της βιομάζας. Σημειώνεται ότι τα RBC (εικόνα 4.6) μπορεί να τοποθετηθούν σε κελάρι καθώς έχουν χαμηλή απαίτηση χώρου (FBR, 2005).



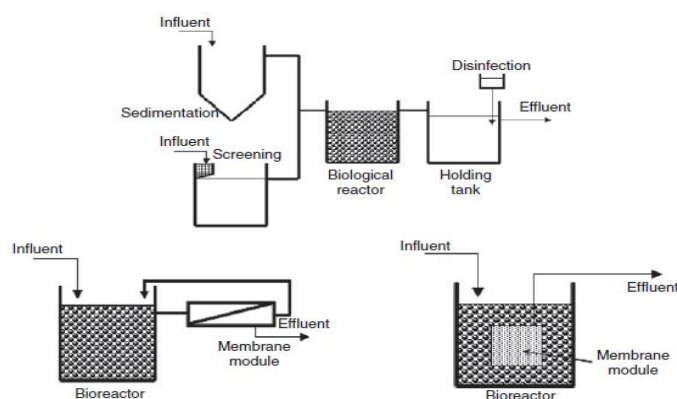
Εικόνα 4.6 Σύστημα βιολογικών δίσκων (FBR, 2005)

Τα συστήματα διακοπτόμενης λειτουργίας (SBR) αποτελούνται από τέσσερα στάδια: της πλήρωσης, του αερισμού, της καθίζησης και της απόχυσης (εικόνα 4.7). Τονίζεται ότι τα συστήματα αυτά είναι διαθέσιμα στην αγορά ως μεμονωμένες ενότητες, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα πρόσθεσης οντοτήτων ανάλογα με την προς επεξεργασία ποσότητα του γκρι νερού (FBR, 2005).



Εικόνα 4.7 Σύστημα διακοπτόμενης λειτουργίας (FBR, 2005)

Στην εικόνα 4.8 παρατίθενται τυπικές διατάξεις βιολογικών συστημάτων επεξεργασίας γκρι νερού.

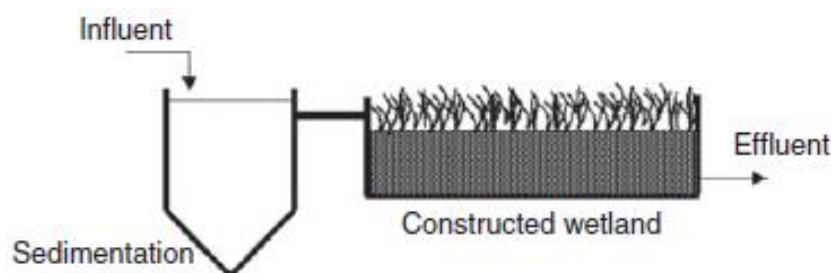


Εικόνα 4.8 Τυπικές διατάξεις βιολογικών συστημάτων επεξεργασίας γκρι νερού (Pidou et al., 2007)

Οι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής σε αυτά τα συστήματα κυμαίνονται από 0,8 ώρες έως 2,8 ημέρες. Σημειώνεται ότι ο μέσος χρόνος παραμονής είναι περίπου 19 ώρες. Μεγαλύτεροι χρόνοι δύναται να παρατηρηθούν σε συστήματα που επεξεργάζονται γκρι νερό με μεγάλες συγκεντρώσεις ρυπογόνων ουσιών, όπως είναι το νερό που προέρχεται από το πλυντήριο είτε από μικτή χρήση. Ένα αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι τα βιολογικά συστήματα ανεξάρτητα από τον αριθμό και το είδος των διεργασιών έχουν εξαιρετική απόδοση όσον αφορά στην απομάκρυνση των οργανικών και των στερεών (Pidou et al., 2007).

4.6.5 ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

Τα εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας του γκρι νερού περιλαμβάνουν τεχνητούς υγροβιότοπους, όπως είναι οι καλαμώνες και οι τεχνητές λίμνες. Τα συστήματα αυτά απαιτούν συνήθως μια προεπεξεργασία καθίζησης, με σκοπό την απομάκρυνση των μεγαλύτερων στερεών και έπονται συχνά, από μια διεργασία διήθησης για την περαιτέρω κατακράτηση σωματιδίων. Ο πλέον συνηθισμένος τύπος φυτών που χρησιμοποιείται στην κατασκευή καλαμώνων είναι ο *Phragmites australis*. Παρακάτω εικονίζεται μια τυπική διάταξη ενός εκτενούς συστήματος (εικόνα 4.9). Συγκεκριμένα, αυτή περιλαμβάνει ένα στάδιο καθίζησης (sedimentation) και έναν τεχνητό υγροβιότοπο (Pidou et al., 2007).



Εικόνα 4.9 Τυπική διάταξη ενός εκτενούς συστήματος (Pidou et al., 2007)

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι πραγματοποιούν καλή επεξεργασία του γκρι νερού. Λεπτομερώς, μια μέση τιμή τελικής συγκέντρωσης BOD των 17 mg/ L καταγράφηκε, ενώ πάνω από τα μισά εκτεταμένα συστήματα είχαν τελικές συγκεντρώσεις BOD κάτω των 10 mg/ L. Επιπλέον, έχουν παρατηρηθεί μέσες τελικές συγκεντρώσεις των 8 NTU και των 13 mg/ L για τη θολότητα και τα αιωρούμενα στερεά αντίστοιχα. Τα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ο μικρός βαθμός απομάκρυνσης των μικροοργανισμών και η υψηλή απαίτηση χώρου (Pidou et al., 2007).

Τέλος, όσον αφορά στην υδραυλική των εκτεταμένων συστημάτων, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι και ένα έτος, ενώ ένας μέσος χρόνος παραμονή είναι τέσσερις με πέντε ημέρες (Pidou et al., 2007).

4.7 ΟΦΕΛΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα, μερικά από τα οποία καταγράφονται παρακάτω:

- Εξοικονομείται νερό και μειώνονται οι ποσότητες κατανάλωσης υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού μέσω της αντικατάστασης του από το παραγόμενο γκρι νερό. Ειδικότερα, το νερό που χρησιμοποιείται σε επίπεδο κατοικίας πέρα αυτού από τις λεκάνες (μαύρο νερό) μπορεί να ανακυκλωθεί σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους.
- Μειώνεται ο όγκος των λυμάτων και το αντίστοιχο κόστος κατασκευής αποχετευτικών δικτύων με την επί τόπου επεξεργασία του γκρι νερού. Παράλληλα αυξάνεται ο χρόνος ζωής και η ικανότητα των σηπτικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, στα δημόσια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, η μειωμένη ροή αυτών οδηγεί σε υψηλότερη κατεργασία αυτών και μικρότερο κόστος.
- Το γκρι νερό αποτελεί έναν πολύτιμο πόρο, τόσο για την ανάπτυξη φυτών όσο και για τον εξωραϊσμό μιας περιοχής, ιδιαίτερα όταν επικρατεί ξηρό κλίμα.
- Το γκρι νερό όχι μόνο περιέχει το ένα δέκατο του αζώτου συγκριτικά με το μαύρο νερό, άλλα η μισή ποσότητα αυτού είναι οργανική και δύναται να απομακρυνθεί μέσω φιλτραρίσματος και βιολογικής πρόσληψης από τα φυτά.
- Το γκρι νερό είναι πλούσιο σε φωσφόρο, κάλιο και άζωτο καθιστώντας το καλό θρεπτικό συστατικό ή πηγή λιπάσματος για αρδευτικούς σκοπούς.

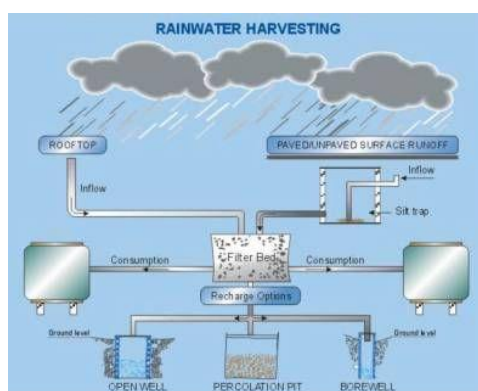
- Τα τοπικά συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού ελαττώνουν τη χρήση του πόσιμου νερού τόσο για τη μεταφορά όσο και για την επεξεργασία των λυμάτων. Παράλληλα, μειώνεται και η ενέργεια που χρειάζεται για την επεξεργασία και την άντληση λόγω της μείωσης του όγκου των λυμάτων.
- Μειώνεται η επιφανειακή και υπόγεια μόλυνση μέσω των αποχετεύσεων και των σηπτικών συστημάτων, καθώς τα θρεπτικά στοιχεία που περιλαμβάνει το γκρι νερό δεν καταλήγουν στο έδαφος, όπως συμβαίνει με τα παραδοσιακά αποχετευτικά συστήματα.
- Η εκτροπή του γκρι νερού είναι κατάλληλη για μικρής κλίμακας συστήματα και δύναται να εφαρμοστεί τόσο σε αγροτικό όσο και αστικό περιβάλλον.
- Σε εδάφη λεπτόκοκκα, όπου επικρατούν φαινόμενα αργής διήθησης, ένα σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού μπορεί να αποτελέσει μια μερική ή πλήρη λύση, συγκριτικά με μια αντίστοιχη πιο δαπανηρή και σύνθετη, λόγω φυσικών περιορισμών που εμποδίζουν την κατασκευή σηπτικής δεξαμενής.
- Πραγματοποιείται επαναφόρτιση του υπόγειου δυναμικού, κάθε φορά που το γκρι νερό που χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς, ξεπερνάει τις ανάγκες των φυτών με αποτέλεσμα να καταλήγει στο έδαφος (FBR, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η συλλογή βρόχινου νερού (rainwater harvesting) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, την αποθήκευση και τη μεταφορά του βρόχινου νερού από σχετικά καθαρές επιφάνειες, όπως είναι η στέγη, οι βραχώδεις και εδαφικές λεκάνες, με σκοπό τη μελλοντική χρήση αυτού. Η αποθήκευση του βρόχινου νερού πραγματοποιείται είτε σε ειδικές δεξαμενές (rainwater tank), είτε στο έδαφος μέσω της διείσδυσης. Στη δεύτερη περίπτωση συντελεί και στην επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα. Στην εικόνα 5.1 διακρίνονται διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των ομβρίων.



Εικόνα 5.1 Τεχνολογίες συλλογής βρόχινου νερού (Προέλευση: <http://www.ppcb.gov.in/>)

Η συλλογή του βρόχινου νερού είναι διαδεδομένη ευρέως και οι ρίζες της εμφανίζονται πάνω από τέσσερις χιλιάδες χρόνια, σε περιοχές άνυδρες ή ημι-άνυδρες. Στην Ινδία, χρησιμοποιούνταν απλές πέτρινες δομές για την αποθήκευση βρόχινου νερού και χρονολογούνται την τρίτη χιλιετία π.Χ. (Agarwal & Narain, 1997). Ευρήματα ανακαλύφθηκαν στη Μεσόγειο και στη Μέση Ανατολή, στις οποίες το νερό συλλεγόταν από σκληρές επιφάνειες και μεταφερόταν σε υπόγειες δεξαμενές για μελλοντική χρήση. Σημειώνεται ότι στη Δυτική Ευρώπη, στην Αμερική και στην Αυστραλία το βρόχινο νερό αποτελούσε συχνά την κύρια πηγή για το πόσιμο νερό.

5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

5.2.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι παράγοντες που εξαρτάται η ποιότητα του βρόχινου νερού είναι οι εξής:

- Το περιβάλλον που λαμβάνει χώρα η βροχόπτωση.

Η ποιότητα του βρόχινου νερού εξαρτάται από τα νέφη. Η σύσταση τους μπορεί να είναι φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης (τεχνητή βροχή).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα νέφη δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα αντιλαμβάνεται κανείς ότι η ποιότητα του βρόχινου νερού είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

- Η επιφάνεια συλλογής (land – based or roof – based).

Η ρύπανση του βρόχινου νερού από την επιφάνεια στην οποία ρέει αποτελεί σημαντικότερο πρόβλημα συγκριτικά με αυτή που προέρχεται από την ατμόσφαιρα. Το υλικό της επιφάνειας απορροής δεν επιφέρει σημαντική μείωση της ποιότητας, ειδικά σε περιπτώσεις που είναι αδιαπέρατο και σκληρό. Αντιθέτως, σημαντικό πρόβλημα δημιουργούν τα υλικά που συσσωρεύονται στις επιφάνειες απορροής. Συγκεκριμένα, μετά το τέλος μιας ξηρής περιόδου, οι επιφάνειες είναι καλυμμένες με οργανικό υλικό (νεκροί οργανισμοί, συσσώρευση φύλλων, περιττώματα), στοιχείο που προκαλεί σημαντική μείωση στην ποιότητα του νερού. Συνεπώς, είναι αναγκαία η απομάκρυνση των πρώτων βροχοπτώσεων της υγρής περιόδου (Thomas, 1998).

- Ο χώρος αποθήκευσης του βρόχινου νερού.

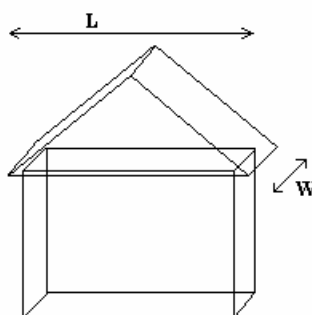
Ο χώρος αποθήκευσης του βρόχινου νερού είναι πιθανό να αποτελέσει πηγή μόλυνσης αυτού. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να τηρούνται καλές συνθήκες υγιεινής και η δεξαμενή να τοποθετείται σε κατάλληλα σημεία.

5.2.2 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της ποσότητας του συλλεγόμενου βρόχινου νερού παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το εμβαδόν της επιφάνειας αποστράγγισης.

Ορίζεται ως η επιφάνεια η οποία είναι εκτεθειμένη στη βροχόπτωση και διαθέτει κατάλληλη διάταξη για τη συλλογή του βρόχινου νερού. Σε περίπτωση κατοικίας η επιφάνεια αυτή αποτελεί την κάτοψη μιας στέγης ή ταράτσας (εικόνα 5.2). Σημειώνεται ότι αυτή μπορεί να μην είναι η συνολική επιφάνεια της στέγης καθώς η διάταξη των σωλήνων μπορεί να μην το καθιστά δυνατό.



Εικόνα 5.2 Επιφάνεια συλλογής βρόχινου νερού (Environment Agency, 2008)

Στη συλλογή του βρόχινου νερού αποφεύγεται να ληφθεί υπόψη η απορροή που προέρχεται από τσιμεντοστρωμένες ή πλακοστρωμένες εξωτερικές εκτάσεις, καθώς αυτές έχουν αυξημένο ρυπαντικό στοιχείο (Shatewi, 2008).

- Ο συντελεστής ικανότητας συλλογής του απορρέοντος νερού.

Η αποδοτικότητα με την οποία μια επιφάνεια της κατοικίας συλλέγει την απορροή εκφράζεται με το συντελεστή ικανότητας συλλογής, ο οποίος αποτελεί ποσοστό της κατακρήμνισης που εμφανίζεται ως απορροή (Τρικοιλίδου κ.α., 2003). Στον παρακάτω πίνακα 5.1 παρουσιάζονται κάποιες τυπικές τιμές του συντελεστή αυτού.

Πίνακας 5.1 Τιμές για το συντελεστής ικανότητας συλλογής ανάλογα με τον τύπο της στέγης (Environment Agency, 2008 μετά από προσαρμογή)

Συντελεστής ικανότητας συλλογής	
Τύπος στέγης	Τιμή
Στέγη (δίρριχτη, μονόρριχτη)	0,9
Στέγη με κεραμίδια	0,8
Ταράτσα με χαλίκια	0,8

- Οι απώλειες.

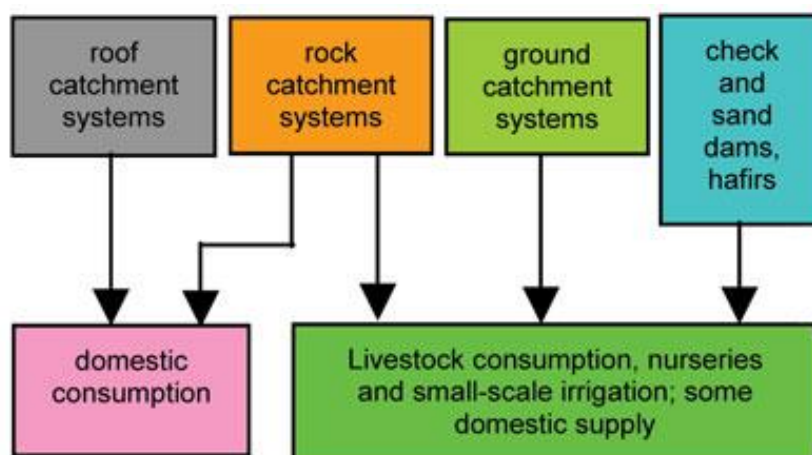
Όλα τα υλικά κατασκευής έχουν την ικανότητα να απορροφούν ένα ποσοστό της βροχόπτωσης που καταλήγει σε αυτά. Γενικά, ένα λείο, καθαρό και αδιαπέρατο υλικό συμβάλλει στη συλλογή μεγαλύτερης ποσότητας. Οι κατασκευαστές θεωρούν ότι οι απώλειες ανέρχονται περίπου στο 25% της βροχόπτωσης (Martin, 1980).

- Η μέση βροχόπτωση αλλά και η χρονική διακύμανση αυτής.

5.3 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι πρακτικές της συλλογής του βρόχινου νερού χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις χερσαίες (land – based) και αυτές που εφαρμόζονται στις οροφές και στις στέγες (roof – based). Στην πρώτη κατηγορία η απορροή προέρχεται από πλακόστρωτους ή καλυμμένους με τσιμέντο χώρους, όπως είναι τα πεζοδρόμια και οι αυλές και μεταφέρεται σε αυλάκια, λίμνες, δεξαμενές και ταμιευτήρες. Στη δεύτερη περίπτωση, η συλλογή του βρόχινου νερού πραγματοποιείται απευθείας από τη στέγη ενός κτιρίου και το νερό είναι καθαρότερο από το χερσαίο.

Το 1999 οι Gould και Nissen-Petersen (εικόνα 5.3) κατηγοριοποίησαν τη συλλογή των ομβρίων υδάτων ανάλογα με τον τύπο της επιφάνειας της λεκάνης απορροής και την κλίμακα της δραστηριότητας.



Εικόνα 5.3 Μικρής κλίμακας συστήματα συλλογής βρόχινου νερού και χρήσεις (Gould και Nissen-Petersen, 1999)

5.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

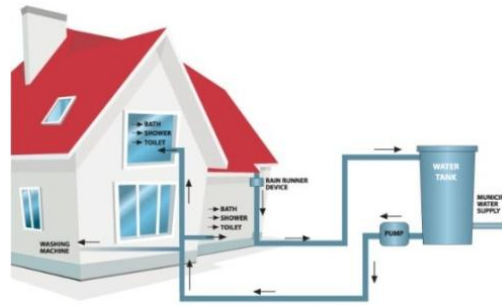
5.4.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα οικιακά συστήματα συλλογής βρόχινου νερού αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Επιφάνεια συλλογής βροχοπτώσεων
- Λούκια και υδρορροές
- Φίλτρα, εσχάρες και διαχωριστές πρώτης απόπλυσης που συντελούν στην απομάκρυνση των ρύπων
- Μία ή περισσότερες δεξαμενές
- Σύστημα επεξεργασίας και απολύμανσης του βρόχινου νερού
- Σύστημα διανομής επεξεργασμένου νερού (Texas Water Development Board, 2005)

5.4.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΕΡΓΕΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

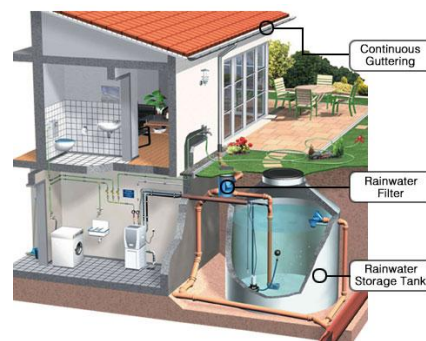
Στο σύστημα υπέργειας δεξαμενής απαραίτητα στοιχεία είναι η δεξαμενή συλλογής και τα φίλτρα που τοποθετούνται στις υδρορροές. Το αποθηκευμένο νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση της βλάστησης. Το κόστος αυτού του συστήματος είναι μικρό. Πολλές φορές τοποθετείται επιπλέον και μια αντλία με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερων παροχών. Στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η τοποθέτηση της υπέργειας δεξαμενής δίπλα στο σπίτι, επιλέγεται η χρήση ενός μικρού δοχείου συλλογής που μεταφέρει το βρόχινο νερό από την επιφάνεια απορροής σε μια δεξαμενή αποθήκευσης και επεξεργασίας μέσω αντλίας. Στο σύστημα αυτό είναι αναγκαία η τοποθέτηση ενός φλοτέρ, το οποίο, ανάλογα με τη στάθμη του μικρού δοχείου συλλογής, θα ενεργοποιεί την αντλία για τη μεταφορά του βρόχινου νερού προς τη μεγάλη δεξαμενή (<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/>).



Εικόνα 5.4 Υπέργειο σύστημα συλλογής βρόχινου νερού (Προέλευση: <http://www.watersolutions.co.za/>)

5.4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

Η απορροή από την ταράτσα συλλέγεται σε έναν κεντρικό σωλήνα μέσω του οποίου μεταφέρεται το βρόχινο νερό σε ένα υπόγειο σύστημα συλλογής. Βασικά τμήματα αυτού είναι τα φίλτρα στις υδρορροές, ένα επιπλέον φίλτρο συγκράτησης χονδρόκοκκων στερεών στην είσοδο της υπόγειας δεξαμενής και μια αντλία για την εξασφάλιση σταθερής πίεσης (<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/>).



Εικόνα 5.5 Υπόγεια δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού (Προέλευση: <http://www.solusrenewableenergy.co.uk/>)

5.4.4 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το ολοκληρωμένο σύστημα αξιοποίησης βρόχινου νερού αποτελείται από μια υπόγεια δεξαμενή και έναν εξοπλισμό αυτόματης διαχείρισης. Είναι παρόμοιο με το υπόγειο σύστημα, με τη διαφορά ότι έχει επιπλέον φίλτρα και μια διάταξη απολύμανσης (<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/>).

5.5 ΟΦΕΛΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η συλλογή του βρόχινου νερού στις αστικές και αγροτικές περιοχές προσφέρει πολλά οφέλη. Σε αυτά περιλαμβάνεται η παροχή συμπληρωματικού νερού, η αυξημένη εδαφική υγρασία που είναι απαραίτητη για τη βλάστηση, ο τεχνητός εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα και η βελτίωση της ποιότητας του νερού. Σε επίπεδο κτιρίου, το νερό που συλλέγεται δύναται να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση, τα καζανάκια και το πλυντήριο ρούχων. Παρακάτω παρατίθενται επιγραμματικά τα κυριότερα οφέλη της συλλογής βρόχινου νερού:

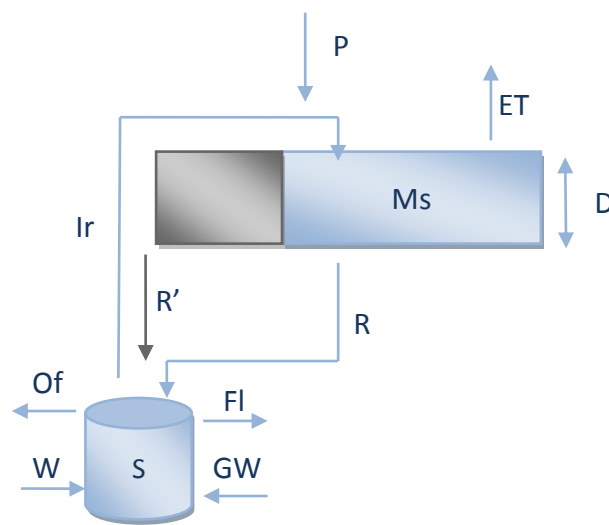
- Τα νερό της βροχής είναι σχετικά καθαρό και αποτελεί ελεύθερο αγαθό.
- Η αποθήκευση του αποτελεί πηγή νερού σε περιπτώσεις που αυτό χρειάζεται.
- Διαχειρίζεται από τον ιδιοκτήτη και παρέχει μια αυτάρκεια.
- Είναι κοινωνικά αποδεκτό και φιλικό προς το περιβάλλον.
- Ενισχύει την εξοικονόμηση των υδατικών πόρων.
- Συντελεί στη μείωση της απορροής των ομβρίων και της ρύπανσης που προέρχεται από μη σημειακές πηγές.
- Χρησιμοποιεί απλές και ευέλικτες τεχνολογίες.
- Το κόστος λειτουργίας του είναι χαμηλό.
- Παρέχει ασφαλές πόσιμο νερό μετά από κατάλληλη επεξεργασία (<http://www.watercache.com/education/rainwater/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

Για την μαθηματική περιγραφή του μοντέλου πράσινης στέγης χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση ισοζυγίου μάζας, η οποία παρουσιάζεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 6.1 Αναπαράσταση Μοντέλου πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού

Εφαρμόστηκαν επιπλέον οι τεχνολογίες συλλογής βρόχινου και γκρι νερού για την κάλυψη βασικών υδατικών αναγκών του σπιτιού και της πράσινης στέγης (Makropoulos and Butler, 2010). Καταστρώθηκαν δυο εξισώσεις υδρολογικού ισοζυγίου, μια για την πράσινη στέγη και μια για τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού:

Ισοζύγιο Πράσινης Στέγης

$$P + Ir - ET - R = Ms$$

Ισοζύγιο Δεξαμενής Αποθήκευσης Νερού

$$R + GW + W - Fl - Of - Ir + R' = S$$

Οι διάφορες συνιστώσες αυτών είναι οι εξής:

- P: Κατακρήμνιση
- ET: Εξατμοδιαπνοή
- Ms: Εδαφική υγρασία του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης
- D: Πάχος εδαφικού υποστρώματος
- Ir: Άρδευση
- R: Απορροή από πράσινη στέγη
- S: Χωρητικότητα δεξαμενής
- FI: Ζήτηση ανακυκλωμένου νερού
- Of: Υπερχείλιση
- W: Πρόσθετο νερό
- GW: Επεξεργασμένο γκρι νερό
- R': Απορροή από μαύρη στέγη

6.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι λειτουργίες και ο υπολογισμός των διαφόρων συνιστωσών του μοντέλου.

6.2.1 ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ (Ρ)

Η κατακρήμνιση στην παρούσα εργασία αφορά στη βροχόπτωση της υπό μελέτη περιοχής. Συγκεκριμένα, αποτελεί δεδομένο εισόδου στο ισοζύγιο της πράσινης στέγης. Σημειώνεται ότι η μέτρηση της βροχής πραγματοποιείται με διάφορα όργανα, όπως είναι τα βροχόμετρα, οι βροχογράφοι, τα μετεωρολογικά ραντάρ και οι δορυφόροι. Οι μετρήσεις μάλιστα αυτών, αναρτώνται σε διάφορες ιστοσελίδες, όπου έχει πρόσβαση ο χρήστης και δύναται να τις χρησιμοποιήσει στο παρόν μοντέλο.

6.2.2 ΕΞΑΤΜΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤ)

6.2.2.1 Γενικά στοιχεία

Η εξατμοδιαπνοή αποτελεί δεδομένο εξόδου στο ισοζύγιο της πράσινης στέγης. Ο υπολογισμός της πραγματοποιείται έμμεσα, κυρίως μέσω δεδομένων καιρού, καθώς η συλλογή ακριβών μετρήσεων πεδίου είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Ένας μεγάλος αριθμός εμπειρικών ή ημι – εμπειρικών σχέσεων έχει αναπτυχθεί τα τελευταία πενήντα χρόνια για την εκτίμηση της εξατμοδιαπνοής με τη βοήθεια διαφόρων κλιματικών μεταβλητών και με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων. Μερικές από τις μεθόδους είναι έγκυρες μόνο κάτω από συγκεκριμένες κλιματικές και αγρονομικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εφαρμοστούν σε γενική κλίμακα, αλλά μόνο σε ειδικές αντίστοιχες περιπτώσεις. Παράλληλα, ο έλεγχος της ακρίβειας των μεθόδων για τις εκάστοτε συνθήκες είναι επίπονος, χρονοβόρος και δαπανηρός, ενώ τα δεδομένα εξατμοδιαπνοής απαιτούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα για το σχεδιασμό ενός έργου και για τον προγραμματισμό της αρδευτικής δραστηριότητας (Allen & Pruitt, 1991). Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν και δημοσιεύθηκαν κατάλληλες οδηγίες στο τεύχος 24 «Crop

water requirements». Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της διαθεσιμότητας διαφορετικών δεδομένων ανά χρήστη, παρουσιάστηκαν τέσσερις μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής αναφοράς, η Blaney-Criddle, η μέθοδος της ακτινοβολίας, η τροποποιημένη Penman και η μέτρηση μέσω ενός εξατμισίμετρου (pan evaporation) (Doorenbos & Pruitt, 1975).

Η τροποποιημένη μέθοδος Penman παρείχε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα και το ελάχιστο δυνατό σφάλμα όσον αφορά στον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (γρασίδι). Όπως ήταν αναμενόμενο, οι μετρήσεις στην περίπτωση της μεθόδου του εξατμισίμετρου ήταν άμεσα εξαρτημένες με την τοποθεσία αυτού. Η μέθοδος της ακτινοβολίας προτάθηκε σε περιστάσεις όπου ενώ ήταν διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η ηλιοφάνεια, η νέφωση και η ακτινοβολία, έλειπαν στοιχεία για την ταχύτητα του ανέμου και την υγρασία του αέρα. Τέλος, η μέθοδος Blaney – Criddle, σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, είναι καλό να χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου διατίθενται μόνο δεδομένα θερμοκρασίας μόνο (Allen et al., 1998).

Οι παραπάνω μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής αναφοράς (ETo) βαθμονομήθηκαν για περίοδο δέκα ημερών ή μηνιαίου βήματος. Συνεπώς, δεν επαρκούσαν για ημερήσιους ή ωριαίους υπολογισμούς που πολλές φορές απαιτούνται για διάφορες μελέτες. Συγκεκριμένα, η μέθοδος Blaney – Criddle συνιστάται για χρονικό διάστημα ενός μήνα και πάνω, ενώ η μέθοδος του εξατμισίμετρου για διάστημα δέκα ή περισσότερων ημερών (Allen et al., 1998).

Πρόοδοι στην έρευνα και μια πιο ακριβής θεώρηση των αναγκών των φυτών σε νερό οδήγησε στην αποκάλυψη αδυναμιών των παραπάνω μεθόδων, όσον αφορά στον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής. Πολλοί ερευνητές ανέλυσαν την απόδοση αυτών για ένα εύρος περιοχών. Παρόλο που τα αποτελέσματα ήταν πιθανό να επηρεαστούν από λάθη σε μετρήσεις λόγω δύσκολων συνθηκών ή από όχι κατάλληλη ή ελλιπή συλλογή δεδομένων, ήταν ξεκάθαρο, πως οι παραπάνω μέθοδοι δεν ανταποκρίνονται σε διαφορετικές περιοχές με τον ίδιο τρόπο. Σημειώνεται μάλιστα, ότι παρατηρήθηκαν αποκλίσεις μεταξύ των παρατηρημένων και των υπολογισμένων τιμών, οι οποίες πολλές φορές ξεπερνούσαν το επιτρεπτό

όριο που είχε οριστεί από την FAO. Συγκεκριμένα, η τροποποιημένη μέθοδος Penman σε πολλές περιπτώσεις υπερεκτιμούσε την εξατμοδιαπνοή αναφοράς σε ποσοστό μέχρι και 20% σε συνθήκες χαμηλής εξάτμισης. Τα αποτελέσματα των υπόλοιπων μεθόδων είχαν ορισμένες αποκλίσεις από αυτά της καλλιέργειας αναφοράς (Allen et al., 1998).

Πολυάριθμοι ερευνητές ανέλυσαν την απόδοση του υπολογισμού διαφόρων μεθόδων και όλα οδηγούσαν στην επιτακτική ανάγκη καθορισμού μιας τυποποιημένης μεθόδου για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής αναφοράς. Ως αποτέλεσμα της διαβούλευσης εμπειρογνομόνων που πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 1990, καθιερώθηκε η μέθοδος FAO Penman-Monteith ως η πλέον αξιόπιστη τυποποιημένη μέθοδος για τη μέτρηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής ΕΤο (Allen et al., 1998).

6.2.2.2 Υπολογισμός Δυνητικής Εξατμοδιαπνοής

1^η περίπτωση

Όταν όλα τα δεδομένα της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου είναι διαθέσιμα, η εξίσωση υπολογισμού σύμφωνα με τη μέθοδο Penman – Monteith είναι η ακόλουθη:

$$PET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \times \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma'} \times F(u) \times D$$

Όπου: PET είναι η δυνητική εξατμοδιαπνοή (mm/ day)

Δ είναι η κλίση καμπύλης πίεσης κορεσμού υδρατμών (hPa / K),

γ είναι ο ψυχομετρικός συντελεστής (hPa / K)

γ' είναι συντελεστής που ορίζεται ως: $\gamma' = \gamma \times \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)$

r_s είναι η επιφανειακή αντίσταση

r_a είναι η αεροδυναμική αντίσταση

R_n είναι η ολική καθαρή ακτινοβολία ($\text{KJ} / \text{m}^2 / \text{d}$)

λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (KJ / kg)

D είναι η διαφορά της πίεσης κορεσμού υδρατμών από την πραγματική

$$D = e_* - e \text{ (hPa)}$$

$F(u)$ είναι συνάρτηση που ορίζεται ως: $F(u) = \frac{90}{T+273} \times u \text{ (kg / (hPa*} \times \text{m}^2 \times \text{d))}$

2^η περίπτωση

Δεδομένου ότι η διακύμανση της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε μηνιαία βάση είναι σχετικά μικρή και κυμαίνεται γύρω από τις μέσες τιμές, σε περίπτωση που εκλείπουν στοιχεία για την ταχύτητα ανέμου ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τα παρακάτω:

Πίνακας 6.1 Προτεινόμενες τιμές ταχύτητας ανέμου (Allen et al., 1998 μετά από προσαρμογή)

Μηνιαία στοιχεία της ταχύτητας του ανέμου	
Είδος ανέμου	Μέση μηνιαία τιμή στα 2 m
Ήπιος	$\leq 1 \text{ m/s}$
Ήπιος προς μέτριος	1 έως 3 m/s
Μέτριος προς δυνατός	3 έως 5 m/s
Δυνατός	$\geq 5 \text{ m/s}$

Εναλλακτικά, όταν τα δεδομένα ταχύτητας ανέμου δεν είναι διαθέσιμα εντός μιας περιοχής, η τιμή των 2 m / s μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια προσωρινή εκτίμηση. Αυτή η τιμή είναι ο μέσος όρος περίπου 2.000 μετεωρολογικών σταθμών σε όλο τον κόσμο (Allen et al., 1998).

3^η περίπτωση

Όταν τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, σχετικής υγρασίας ή τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου λείπουν, η δυνητική εξατμοδιαπνοή θα πρέπει να εκτιμηθεί με τη χρήση της εξίσωσης Hargreaves:

$$PET = 0,0023 \times (T_{mean} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} \times S_o$$

Η παραπάνω εξίσωση έχει την τάση σε συνθήκες έντονου ανέμου ($u > 3$ m/s) να υποτιμάει την τιμή την εξατμοδιαπνοής, ενώ σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας να υπερεκτιμάει αυτή την τιμή (Hargreaves, 1983).

6.2.2.3 Υπολογισμός Πραγματικής Εξατμοδιαπνοής

Κάθε καλλιέργεια έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό εξατμοδιαπνοής. Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμοδιαπνοής αρκεί να πολλαπλασιαστεί η δυνητική με έναν κατάλληλο φυτικό συντελεστή, K_c .

$$ET = K_c \times PET$$

Πίνακας 6.2 Μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές φυτικών συντελεστών για διάφορα είδη βλάστησης (Connellan & Symus, 2006 μετά από προσαρμογή)

Φυτικοί Συντελεστές			
Βλάστηση	K_{cmin}	K_{cmax}	K_{cmean}
Δέντρα	0,2	0,9	0,5
Θάμνοι	0,2	0,7	0,5
Εδαφοκάλυψη	0,2	0,9	0,5
Μικτά	0,2	0,9	0,5
Χλοοτάπητας	0,3	0,9	0,75

6.2.3 ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (M_s)

Για τον υπολογισμό του ελλείμματος της εδαφικής υγρασίας σε κάθε χρονικό βήμα χρησιμοποιήθηκε το απλό μοντέλο του Thornthwaite. Αυτό βασίζεται στην εξομοίωση της πράσινης στέγης με τη λειτουργία μιας απλής δεξαμενής. Το απόθεμα της δεξαμενής αναπαριστά την αποθήκευση της εδαφικής υγρασίας, M_s . Όταν υπερβληθεί η μέγιστη τιμή της εδαφικής υγρασίας της δεξαμενής, τότε πραγματοποιείται απορροή (R). Ο χρήστης γνωρίζοντας τη βροχόπτωση, τη δυνητική εξατμοδιαπνοή και την αποθήκευση στο τέλος της προηγούμενης περιόδου ($M_{s,t-1}$) δύναται να υπολογίσει την απορροή R_t και την αποθήκευση στο τέλος της τρέχουσας περιόδου (Thornthwaite, 1948).

Σε περιόδους που το άθροισμα των τιμών της βροχόπτωσης και της άρδευσης είναι μεγαλύτερο από την τιμή της εξατμοδιαπνοής, η πραγματική εξατμοδιαπνοή ταυτίζεται με τη δυνητική. Η περίσσεια ποσότητα αποθηκεύεται ως εδαφική υγρασία, εφόσον δεν έχει επέλθει ο κορεσμός στο υπόστρωμα βλάστησης (Κουτσογιάννης, & Ξανθόπουλος, 1999). Όταν αυτό κορεστεί, η ποσότητα που δεν μπορεί να συγκρατηθεί από το εδαφικό στρώμα, απορρέει. Οι σχέσεις που περιγράφουν την παραπάνω λειτουργία είναι οι εξής:

➤ Όταν $P_t + I_r_t > ET_t$ τότε

$$M_{s,t+\Delta t} = M'_s_t + I_r_t + P_t - ET_t$$

$$M'_s_t = \min (M_{s_t}, M_{s_{max}})$$

$$R_t = M_{s_t} - M'_s_t$$

Σε περιόδους που το άθροισμα των τιμών της βροχόπτωσης και της άρδευσης είναι μικρότερο από την τιμή της εξατμοδιαπνοής, η πραγματική εξατμοδιαπνοή είναι μικρότερη από τη δυνητική. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι όλη η ποσότητα της βροχής και άρδευσης εξατμίζεται, ενώ παράλληλα ένα μέρος της εδαφικής υγρασίας που είναι αποθηκευμένο στο υπόστρωμα ανάπτυξης χρησιμοποιείται για

τις ανάγκες της βλάστησης. Οι σχέσεις που περιγράφουν την παραπάνω λειτουργία είναι οι εξής:

➤ Όταν $P_t + I_r_t < ET_t$ τότε

$$MS_{t+\Delta t} = MS_t \times e^{\frac{I_t + P_t - ET_t}{MS_{max}}}$$

$$MS'_t = \min (MS_t, MS_{max})$$

$$R_t = MS_t - MS'_t$$

Η μέγιστη τιμή της υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών για τους εκτατικούς τύπους πράσινης στέγης δίνεται στον παρακάτω πίνακα. Συγκεκριμένα, μπορεί να κυμανθεί από 20 έως 65% κατ' όγκον. Δεν συνίσταται μεγαλύτερη τιμή, καθώς σε αυτή την περίπτωση υπάρχει πιθανότητα σχηματισμού λιμνασμάτων στην επιφάνεια (FLL, 2002).

Πίνακας 6.3 Μέγιστη τιμή της υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης (FLL, 2002)

Μέγιστη τιμή της υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης (MS_{max})	
ανώτατο όριο	65% κατ' όγκον
κατώτατο όριο	20% κατ' όγκον

Επιπλέον, για κάθε πράσινη στέγη που μελετάται, η μέγιστη εδαφική υγρασία (field capacity) μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά από τον παρακάτω τύπο.

$$Field\ capacity = [(m_{wk} - m_f) / V \text{ or } V_{wk}] * 100 [vol\ %]$$

Όπου: m_{wk} : η μάζα για μέγιστη εδαφική υγρασία

m_f : η μάζα σε ξηρές συνθήκες

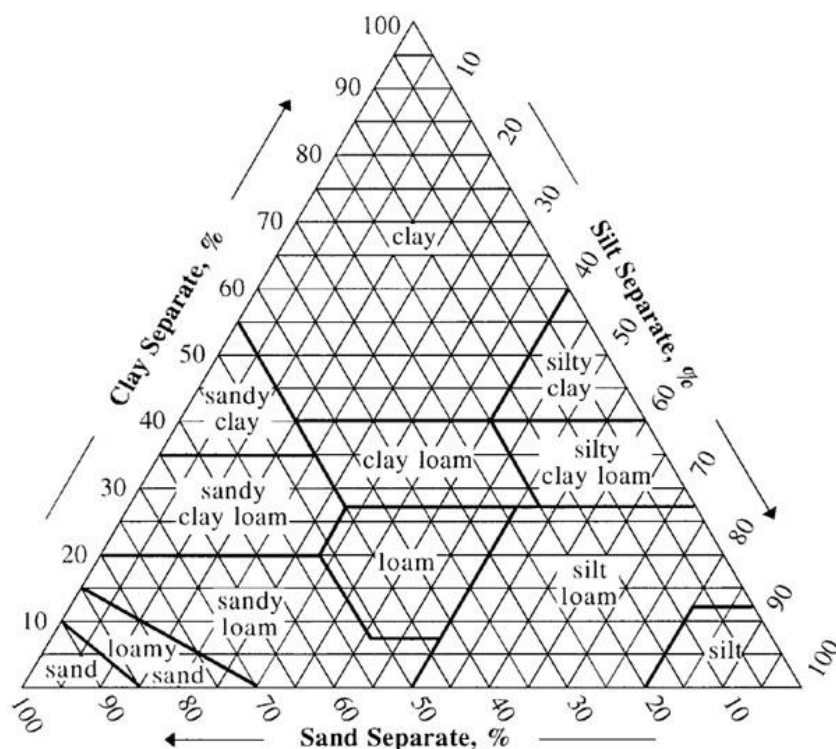
V_{wk} : ο όγκος για μέγιστη εδαφική υγρασία

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές της μέγιστης εδαφικής υγρασίας για διάφορους τύπους εδαφών.

Πίνακας 6.4 Μέγιστη εδαφική υγρασία για διάφορους τύπους εδαφών

Εδαφικό Υπόστρωμα		
Τύπος Εδάφους	Μέγιστη εδαφική υγρασία (fao 56)	μέσες τιμές μέγιστης εδαφικής υγρασίας
Άμμος (Sand)	0.07 – 0.17	0,12
«Πηλώδης» άμμος (Loamy sand)	0.11 – 0.19	0,15
Αμμώδης «πηλός» (Sandy loam)	0.18 – 0.28	0,23
«Πηλός» (Loam)	0.20 – 0.30	0,25
Ιλυώδης «πηλός» (Silt loam)	0.22 – 0.36	0,29
Ιλύς (Silt)	0.28 – 0.36	0,32
Ιλυώδης - Αργιλώδης «πηλός» (Silt clay loam)	0.30 – 0.37	0,335
Ιλυώδης Άργιλος (Silty clay)	0.30 – 0.42	0,36
Άργιλος (Clay)	0.32 – 0.40	0,36

Σημειώνεται ότι ο διαχωρισμός των εδαφών γίνεται βάσει του αμερικάνικου συστήματος. Συγκεκριμένα, η επιλογή του τύπου εδάφους μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας 6.2.



Εικόνα 6.2 Διαχωρισμός εδαφών με βάση το αμερικάνικο σύστημα (Προέλευση: <http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/>)

Όσον αφορά στην ελάχιστη τιμή της εδαφικής υγρασίας που δύναται να περιέχει το υπόστρωμα ανάπτυξης της βλάστησης, αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι ορίζει το βάθος του μόνιμου κορεσμού του υποστρώματος. Σύμφωνα με την επιστήμη της εδαφομηχανικής, οι δοκιμές εφελκυσμού με πλάκα χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση του ποσοστού εδαφικής υγρασίας. Όμως, το μεγάλο εύρος των ορυκτών θραυσμάτων, τα οποία αποτελούν το υλικό πλήρωσης του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης, και συνεπώς η ποικιλία στα χαρακτηριστικά τους, καθιστούν αναγκαία την εκτέλεση των τυποποιημένων διαδικασιών ελέγχου για την ασφαλή εφαρμογή τους (FLL, 2002). Η ελάχιστη τιμή της εδαφικής υγρασίας είναι σαφώς πεπερασμένη και μπορεί να οριστεί από εμπειρικά δεδομένα (Kasmin et al., 2010, Stovin et al. 2012).



Εικόνα 6.3 Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης (Stovin et al. 2012 μετά από προσαρμογή)

6.2.4 ΠΑΧΟΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (D)

Το πάχος του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης εξαρτάται από τον τύπο της πράσινης στέγης (εντατικός, ημιεντατικός, εκτατικός) και από τη βλάστηση που θα εξυπηρετήσει. Ενδεικτικές τιμές πάχους του υποστρώματος ανάλογα με τη φυτοκάλυψη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 6.5 (FLL, 2002):

Πίνακας 6.5 Ενδεικτικές τιμές πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης ανάλογα με τον τύπο της φυτοκάλυψης (FLL, 2002)

Βλάστηση και εδαφικό υπόστρωμα		
Βλάστηση	Συντομογραφία	Πάχος Υποστρώματος (mm)
moss- sedum (ms)	ms	20-40
sedum- moss (sm)	sm	40-60
sedum-moss-herbaceous plants (smh)	smh	60-100
sedum-herbaceous plants-grass plants (shg)	shg	100-150
grass-herbaceous plants (gs)	gs	150-200

6.2.5 ΑΡΔΕΥΣΗ (I_r)

Η άρδευση αποτελεί δεδομένο εισόδου στο ισοζύγιο της πράσινης στέγης και δεδομένο εξόδου στο ισοζύγιο της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Η υπό

μελέτη πράσινη στέγη κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε στην αρχή λειτουργίας της (πρώτη ημέρα) να μην υπάρχει ανάγκη για άρδευση. Εν συνεχεία, σε περιπτώσεις όπου η τιμή της εδαφικής υγρασίας του υποστρώματος φθάνει σε επίπεδο μικρότερο από το επιτρεπόμενο προστίθεται μια συγκεκριμένη ποσότητα ορισμένη από το χρήστη.

6.2.6 ΑΠΟΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ (R)

Η απορροή αποτελεί δεδομένο εξόδου στο ισοζύγιο της πράσινης στέγης και δεδομένο εισόδου στο ισοζύγιο της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Η εκροή αυτή προκύπτει στις περιπτώσεις που η εδαφική υγρασία ξεπερνάει τη μέγιστη δυνατή τιμή. Η παραπάνω περίσσεια ποσότητα του νερού αποτελεί την απορροή του συστήματος.

6.2.7 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (S)

Η χωρητικότητα δεξαμενής εξαρτάται κυρίως από το διαθέσιμο χώρο. Ο χρήστης ανάλογα με το κτίριο, τον περιβάλλοντα χώρο αλλά και τις αρδευτικές και εσωτερικές ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου (δημόσιου ή ιδιωτικού) επιλέγει τις διαστάσεις της δεξαμενής του.

6.2.8 ΖΗΤΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (FI)

Ο όγκος νερού που χρησιμοποιείται για την πλήρωση της δεξαμενής σε ένα καζανάκι αποτελεί δεδομένο εξόδου στο ισοζύγιο της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Σύμφωνα με τις οδηγίες ύδρευσης του 1999 η μέγιστη τιμή όγκου νερού από τα καζανάκια είναι 6 L (μονής ροής) (<http://www.legislation.gov.uk/>).

Στην αγορά πέρα από τα καζανάκια μιας ροής υπάρχουν και τα καζανάκια διπλής ροής, με συνήθεις τιμές κατανάλωσης νερού 6 / 4 L και 4 / 2 L. Σημειώνεται ότι τα καζανάκια διπλής ροής με τιμή 4 / 2 L, παρόλο που αποδίδουν πολύ καλά σύμφωνα με τους κανονισμούς, καλό θα ήταν να αποφεύγονται σε παλαιά κτίρια, καθώς οι σωληνώσεις αυτών με το κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο είναι πιθανό να μπλοκάρουν λόγω της χαμηλής ροής του νερού.

6.2.9 ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ (Of)

Η υπερχειλίση αποτελεί εκροή του ισοζυγίου της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Λαμβάνει χώρα κάθε φορά που η διαφορά του όγκου των εισροών και των εκροών υπερβαίνει τη χωρητικότητα (S) της επιλεγμένης δεξαμενής.

6.2.10 ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΝΕΡΟ (W)

Το πρόσθετο νερό (W) αποτελεί εισροή του ισοζυγίου της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Σε περιπτώσεις που η στάθμη του νερού πέφτει κάτω από ένα επίπεδο, τότε προστίθεται στο σύστημα συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Τόσο η στάθμη, όσο και η πρόσθεση νερού ορίζονται από το χρήστη και εξαρτώνται από το κλίμα, τις αρδευτικές ανάγκες των φυτών και τις συνήθειες των ανθρώπων του υπό μελέτη κτιρίου.

6.2.11 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟ (GW)

Το επεξεργασμένο γκρι νερό αποτελεί εισροή του ισοζυγίου της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Οι συνιστώσες αυτού είναι το νερό από το νιπτήρα, από το ντους και από τη μπανιέρα. Ο ρυθμός ροής όμως, διαφέρει ανάλογα με τη συσκευή που χρησιμοποιείται.

Σύμφωνα με τον οδηγό της Ideal Standard για τη συμμόρφωση με τους κανόνες του 2009, στα νέα σπίτια προτείνεται να εγκαθίστανται συγκεκριμένα μοντέλα βρυσών όπου η ροή κυμαίνεται από 2 L / min και όταν πρόκειται για τύπου με σπρέι έως 6 L / min. Μια τυπική μέση τιμή αποτελεί αυτή των 4 L / min (Communities and Government, 2010).

Σύμφωνα με το δίκτυο «ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ SOS», στα πλαίσια ενός εκπαιδευτικού προγράμματος για την κατ' οίκον εξοικονόμηση, προτάθηκαν οι παρακάτω τιμές ροής ανάλογα με τη χρήση που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.6 μαζί με μια αντιστοιχία αυτών σε αριθμό μεγάλων μπουκαλιών (1,5 L) (<http://www.env-edu.gr/>).

Πίνακας 6.6 Οικιακή κατανάλωση νερού από διάφορες συσκευές και αντιστοιχία αυτής της ποσότητας σε μεγάλα μπουκάλια νερό (<http://www.env-edu.gr/> μετά από προσαρμογή)

Οικιακή Κατανάλωση Νερού		
Χρήση	Λίτρα	Μεγάλα μπουκάλια νερό
Καζανάκι	9/ φορά	6
Γεμάτη μπανιέρα	150	100
Ντους	15/ λεπτό	10
Πλύσιμο χεριών και προσώπου	30/ 2 λεπτά	20
Πλυντήριο ρούχων	150/ φορά	100
Πλυντήριο πιάτων	50/ φορά	33
Πλύσιμο φρούτων – λαχανικών	15/ λεπτό	10
Πλύσιμο πιάτων στο χέρι	150/ ημέρα	100
Πλύσιμο αυτοκινήτου	150/ φορά	100

Σύμφωνα με το NHBC (National House-Building Council) (<http://www.nhbc.co.uk/>) και τα Βρετανικά Πρότυπα (BS 6700) προτείνονται οι τιμές που παρατίθενται στον πίνακα 6.7. Στον πίνακα 6.8 συνοψίζονται οι τιμές που επιλέχθηκαν για τη ροή του νερού ανάλογα με την κάθε χρήση και το μέσο χρονικό διάστημα αυτής

Πίνακας 6.7 Ενδεικτικές τιμές ροής από διάφορες συσκευές σύμφωνα με τα NHBC πρότυπα και τα BS 6700 (<http://www.nhbc.co.uk/> μετά από προσαρμογή)

Ενδεικτικές τιμές Ροής		
Συσκευή	NHBC standards (L / min)	BS 6700 (L / min)
Ντους	Ροή Σχεδιασμού: 12 Ελάχιστη Ροή: 6	Ροή Σχεδιασμού: 12 Ελάχιστη Ροή: 6
Νιπτήρας	Ροή Σχεδιασμού: 9 Ελάχιστη Ροή: 6	Ροή Σχεδιασμού: 3 – 9 Ελάχιστη Ροή: 1,8 – 6
Βρύση Κουζίνας	Ροή Σχεδιασμού: 12 Ελάχιστη Ροή: 6	Ροή Σχεδιασμού: 12 - 36 Ελάχιστη Ροή: 6 -24

Πίνακας 6.8 Επιλεγμένες τιμές ροής νερού για μπάνιο, ντους και νιπτήρες

Χρήση	Μέσο Διάστημα
Μπάνιο (150 L)	-
Ντους (10 L / min)	5 min
Νιπτήρας (4 L / min)	0,7 min

6.2.12 ΑΠΟΡΡΟΗ ΑΠΟ ΜΑΥΡΗ ΣΤΕΓΗ (R')

Η απορροή από τη μαύρη στέγη αποτελεί εισροή του ισοζυγίου της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού. Η τιμή της είναι ίση με τη βροχόπτωση που θα πέσει στην επιφάνεια της μαύρης στέγης πολλαπλασιασμένη με έναν συντελεστή. Ο συντελεστής χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απωλειών του συστήματος.

6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΙΝΑΚΟΘΗΚΗΣ

6.3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Το μοντέλο πράσινης στέγης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εφαρμόστηκε στην ταράτσα της Εθνικής Πινακοθήκης, επιφάνειας 1963 m². Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η πράσινη στέγη καλύπτει το 60% της επιφάνειας της ταράτσας (1177,8 m²) και στο υπόλοιπο 40% χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία της συλλογής του βρόχινου νερού. Ο συντελεστής αποτελεσματικότητας του συστήματος συλλογής νερού από τη μαύρη στέγη επιλέχθηκε ίσος με 0,9. Η δεξαμενή αποθήκευσης, που υποτέθηκε, είχε όγκο 200 m³. Σημειώνεται ότι στην παρούσα εργασία κάθε φορά που η δεξαμενή άδειαζε, πραγματοποιείτο πρόσθεση νερού τέτοια ώστε να μην αστοχεί το σύστημα ($S = 0$).

Η προέλευση του επεξεργασμένου γκρι νερού στην παρούσα μελέτη είναι μόνο οι νιπτήρες. Δεδομένου ότι οι ετήσιοι επισκέπτες της Εθνικής Πινακοθήκης ανέρχονται στους τετρακόσιους χιλιάδες και θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή αυτών (1095 επισκέπτες / ημέρα), εκ των οποίων περίπου τα 2/3 χρησιμοποιούν τους νιπτήρες (700 επισκέπτες), υπολογίστηκε η ημερήσια ποσότητα του επεξεργασμένου γκρι νερού, η οποία είναι ίση με 2,45 m³.

Οι υδρολογικές μεταβλητές για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής (βροχόπτωση, θερμοκρασία και σχετική υγρασία) συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στην περιοχή Ζωγράφου με γεωγραφικό πλάτος 37,9°, γεωγραφικό μήκος 23,73° και υψόμετρο 181 m. Σημειώνεται ότι το χρονικό βήμα τους ήταν το δεκάλεπτο (<http://hoa.ntua.gr/>). Για να συμβαδίσει με το ημερήσιο βήμα του μοντέλου, οι τιμές αυτές μετατράπηκαν μέσω του προγράμματος "Hydrognomon 4" σε ημερήσιες (<http://hydrognomon.org/>). Η διάρκεια της ηλιοφάνειας λήφθηκε από το σταθμό του Ελληνικού (<http://freemeteo.com/>).

Η υπό μελέτη πράσινη στέγη ανήκει στον εκτατικό τύπο και η βλάστηση που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς αποτελείται από χλοοτάπητα. Στον παρακάτω πίνακα 6.9 παρουσιάζονται οι μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές που υποτέθηκαν για τη μετατροπή της δυνητικής εξατμοδιαπνοής σε πραγματική.

Πίνακας 6.9 Φυτικοί συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη

Διακύμανση Φυτικών συντελεστών		
Μήνας	Kc	Τιμές
Οκτώβριος	Kcmean	0,75
Νοέμβριος	1,25 × Kcmin	0,375
Δεκέμβριος	Kcmin	0,3
Ιανουάριος	Kcmin	0,3
Φεβρουάριος	Kcmin	0,3
Μάρτιος	Kcmean	0,75
Απρίλιος	0,75 × Kcmax	0,675
Μάιος	Kcmax	0,9
Ιούνιος	Kcmax	0,9
Ιούλιος	Kcmax	0,9
Αύγουστος	0,75 × Kcmax	0,675
Σεπτέμβριος	Kcmean	0,75

Επιπλέον, το υπόστρωμα ανάπτυξης αποτελείτο από κατάλληλο μείγμα εδαφών πάχους 0,06 m, στο οποίο επικρατούν οι παρακάτω μέγιστες και ελάχιστες τιμές της εδαφικής υγρασίας (Πίνακας 6.10).

Πίνακας 6.10 Μέγιστες και ελάχιστες τιμές της εδαφικής υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης

Υπόστρωμα ανάπτυξης	
Εδαφική Υγρασία	M _{smax} = 45,9 m ³
	M _{smin} = 21,2 m ³
	M _{s_{t=0}} = M _{smax} = 45,9 m ³

Η υπό μελέτη πράσινη στέγη κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ($M_{s(t=0)} = M_{s_{max}}$), ώστε στην αρχή λειτουργίας της (πρώτη ημέρα) να μην υπάρχει ανάγκη για άρδευση. Εν συνεχεία, σε περιπτώσεις, όπου η τιμή της εδαφικής υγρασίας του υποστρώματος έφθανε σε επίπεδο μικρότερο του $1,3 \times M_{s_{min}}$ ή μεταξύ του $1,3 \times M_{s_{min}}$ και $1,4 \times M_{s_{min}}$ προστίθετο μια συγκεκριμένη ποσότητα ορισμένη από το χρήστη (υψηλή και κανονική αντίστοιχα). Στον πίνακα 6.11 παρουσιάζονται οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν:

Πίνακας 6.11 Ποσότητα άρδευσης σε κανονικές και ακραίες συνθήκες (κανονική και υψηλή τιμή αντίστοιχα)

Άρδευση		
Κανονική (mm - m ³)	5	5,9
Υψηλή (mm - m ³)	8	9,4
$I_{r_{t=0}}$ (mm - m ³)	0	0

Τέλος, η ποσότητα του νερού που είναι απαραίτητη, για τα καζανάκια που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι ίση με τον αριθμό των επισκεπτών που υποτέθηκε ίσος με το ένα τρίτο ($1 / 3$) των επισκεπτών (300 επισκέπτες / ημέρα) πολλαπλασιασμένο με την αντίστοιχη χωρητικότητα αυτών.

Η ανάλυση έγινε κυρίως με τα καζανάκια μονής ροής χωρητικότητας $0,006 \text{ m}^3$ και εν συνεχεία, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα τοποθετώντας αυτά της διπλής ροής (πίνακας 6.12).

Πίνακας 6.12 Χαρακτηριστικά ροής για τα καζανάκια μονής και διπλής ροής

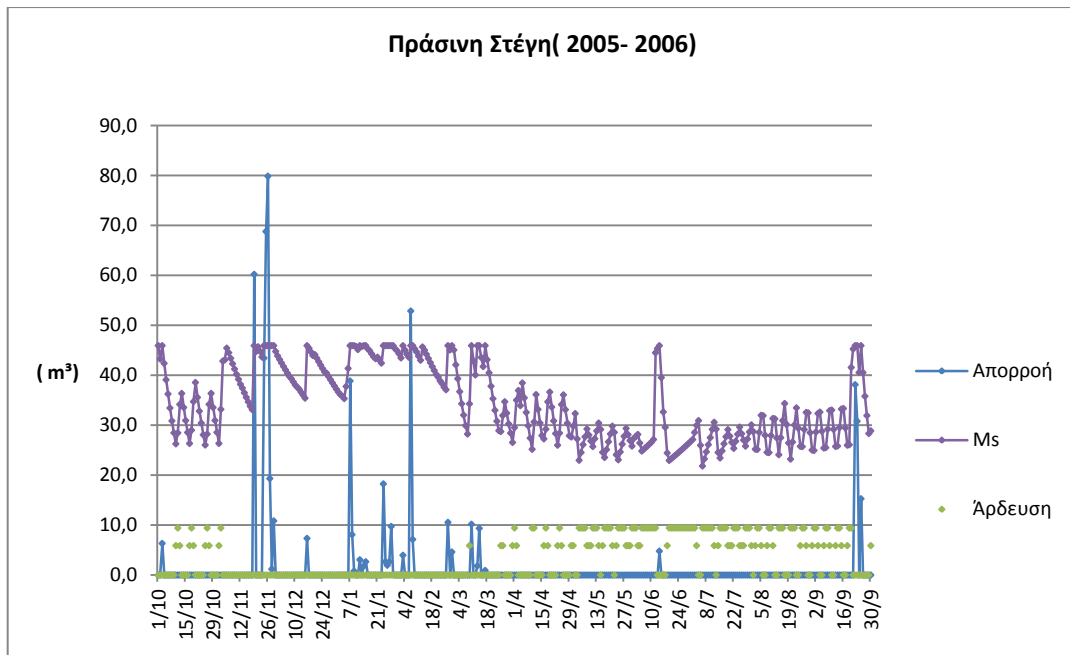
Καζανάκια		
Διπλής ροής (4 /6 lt)		0,0046 m ³
Διπλής ροής (2 /4 lt)		0,0026 m ³
Μονής Ροής (6 lt)	6 lt	0,006 m ³

6.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

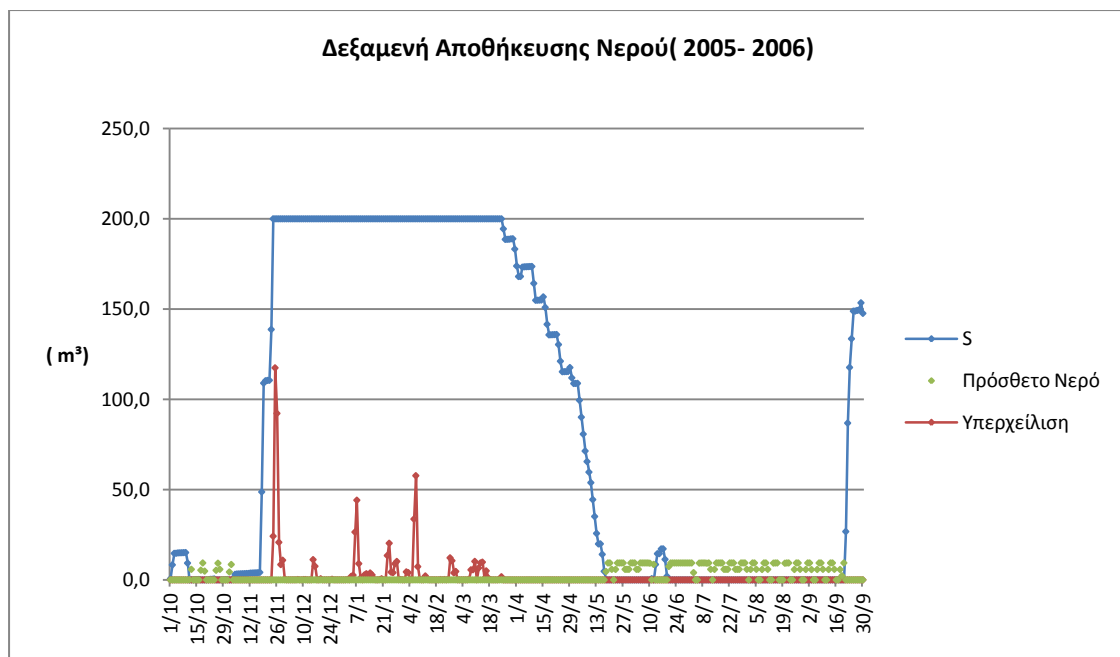
6.3.2.1 Γραφήματα χρονοσειρών

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών, της αναγκαίας ποσότητας άρδευσης, της αποθηκευμένης για επαναχρησιμοποίηση ποσότητας νερού, του πρόσθετου νερού, της υπερχειλίσσης της δεξαμενής αποθήκευσης και της απορροής από τη μαύρη στέγη. Το χρονικό βήμα είναι ημερήσιο και ο όγκος νερού δίνεται σε κυβικά μέτρα. Κάθε διάγραμμα αναφέρεται σε ένα υδρολογικό έτος.

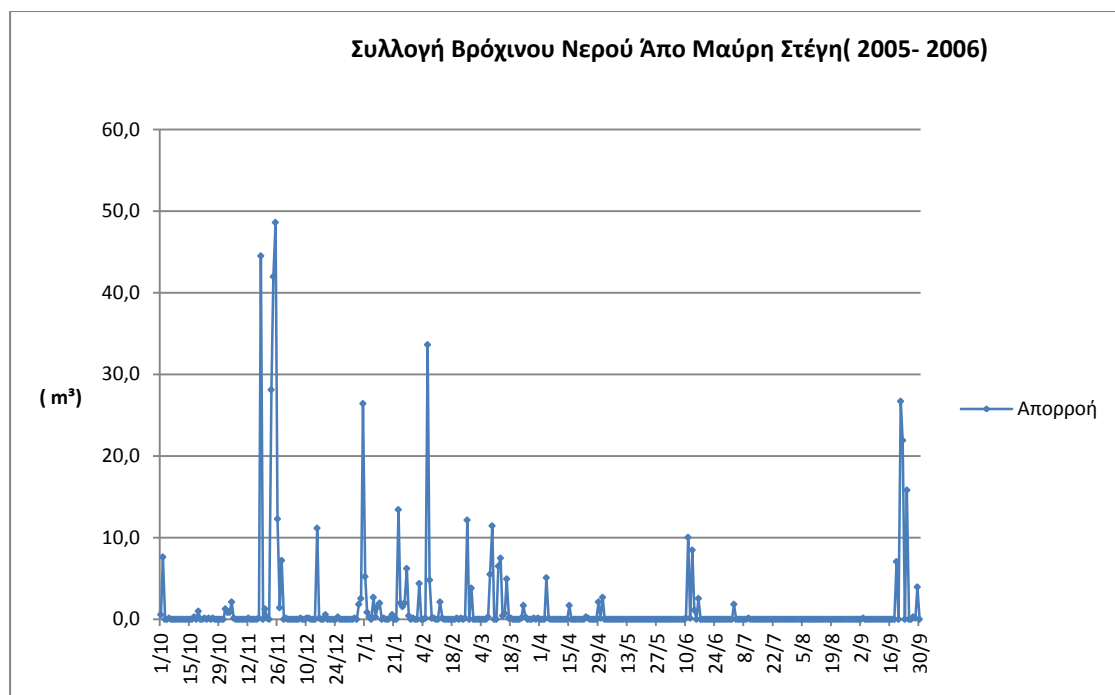
Οκτώβριος 2005 – Σεπτέμβριος 2006: Παρατηρείται ότι μέχρι τις 19/11, που λαμβάνει χώρα μια σημαντικής ποσότητας βροχόπτωση, η στάθμη στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι σχεδόν μηδενική και για αυτό είναι αναγκαία η τροφοδοσία του συστήματος με πρόσθετο πόσιμο νερό. Εν συνεχεία, από τις 24/11 έως και αρχές Μαρτίου, σημειώνονται αρκετές υπερχειλίσσεις εκ των οποίων η μέγιστη τιμή πραγματοποιείται στις 25/11 και ανέρχεται στα 120 m³. Τέλος, από τα μέσα Μαΐου έως και τα μέσα Σεπτεμβρίου λόγω ξηρασίας απαιτείται συχνά η προσθήκη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών (γράφημα 6.1 – 6.3).



Γράφημα 6.1 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2005 έως 9/2006

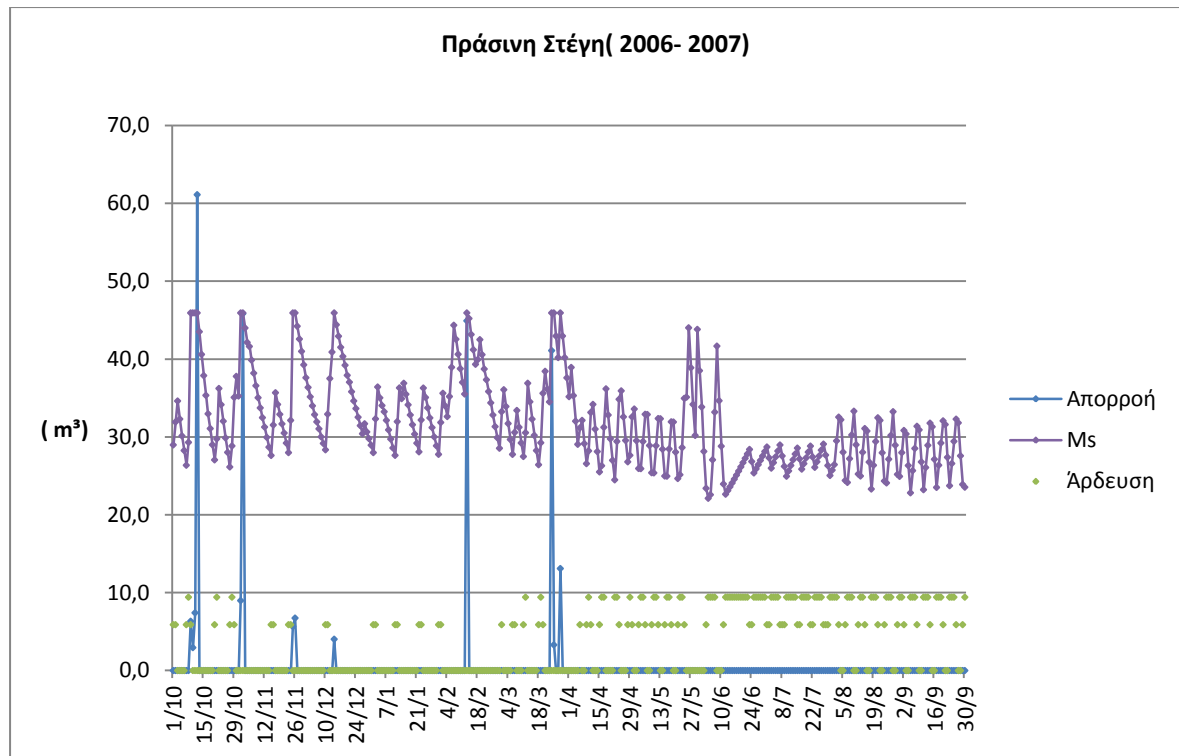


Γράφημα 6.2 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2005 έως 9/2006

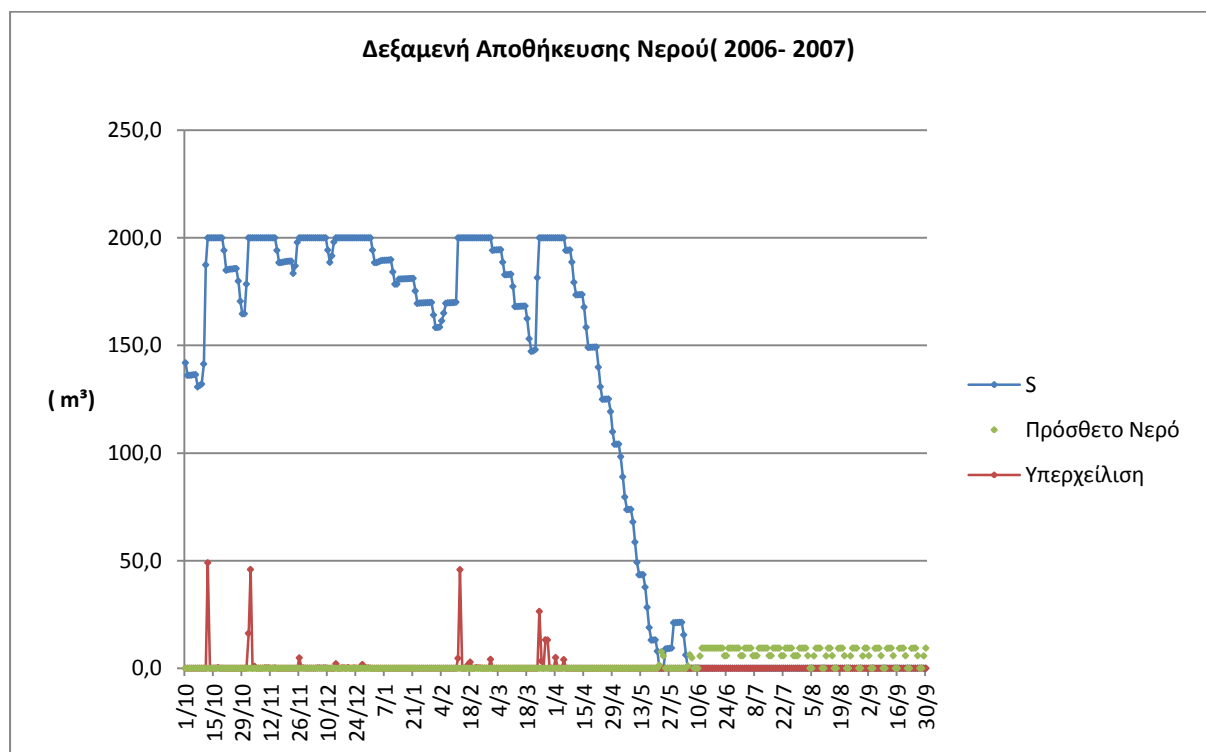


Γράφημα 6.3 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2005 έως 9/2006

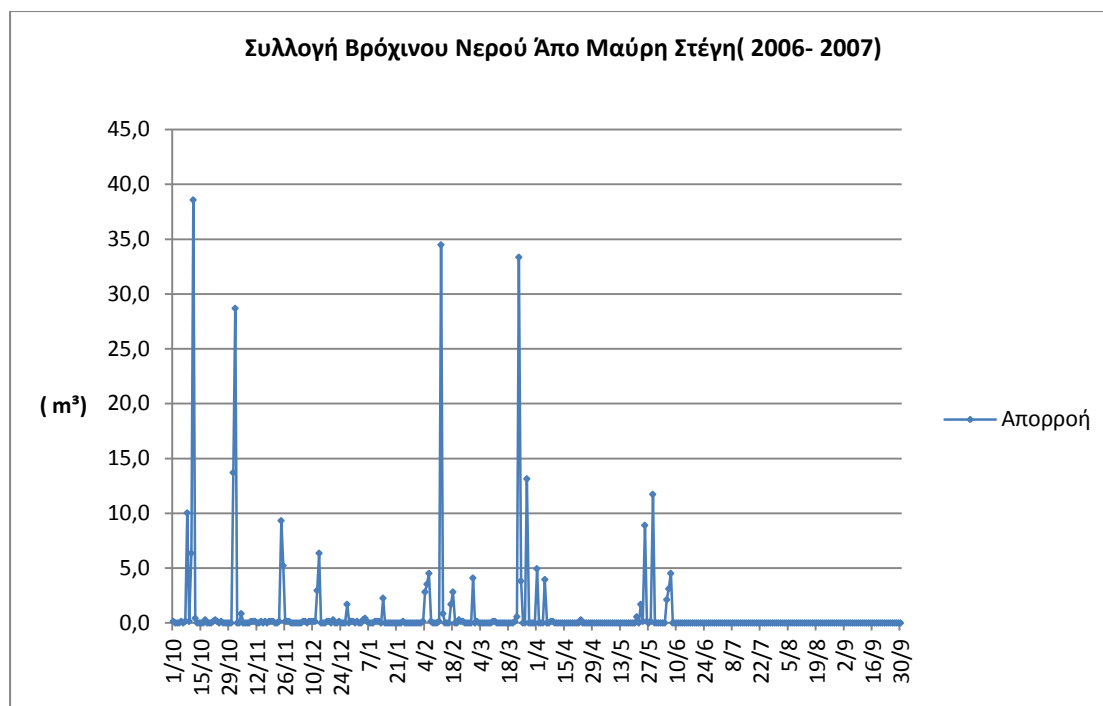
Οκτώβριος 2006 – Σεπτέμβριος 2007: Στην αρχή αυτού του υδρολογικού έτους, η δεξαμενή είναι μισογεμάτη. Στις 12/10 λαμβάνει χώρα μια σημαντικής ποσότητας βροχόπτωση, ενώ παράλληλα η στάθμη στη δεξαμενή αποθήκευσης βρίσκεται στα 160 m³. Αποτέλεσμα αυτού είναι η υπερχειλίση του συστήματος. Άλλα αξιοσημείωτα επεισόδια βροχής συμβαίνουν στις 1/11, 12/2 και 21/3. Επισημαίνεται ότι από τα μέσα Ιουνίου έως και τα τέλη Σεπτεμβρίου απαιτείται συχνά η προσθήκη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών (γράφημα 6.4 – 6.6).



Γράφημα 6.4 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2006 έως 9/2007

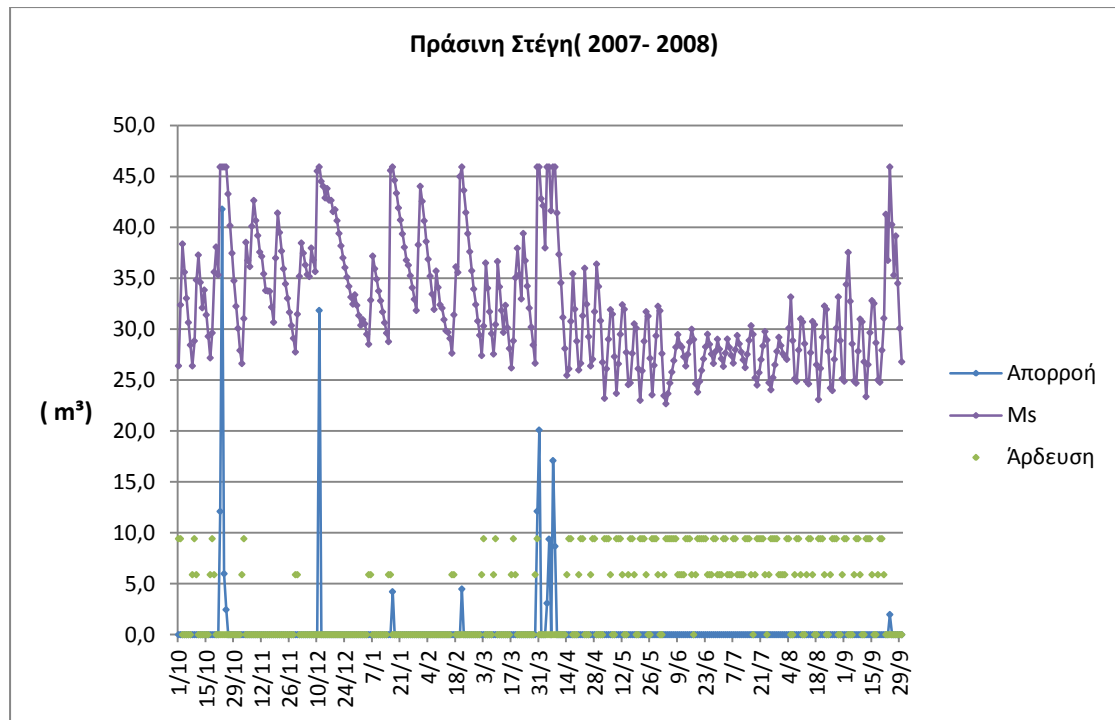


Γράφημα 6.5 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2006 έως 9/2007

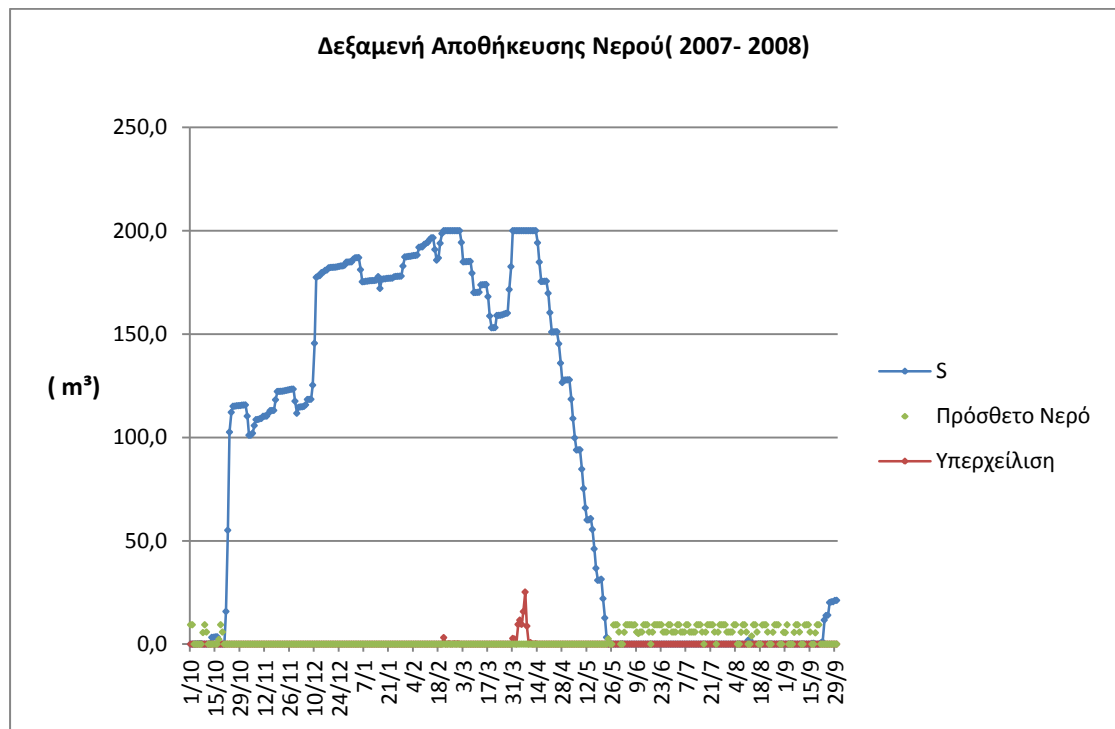


Γράφημα 6.6 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2006 έως 9/2007

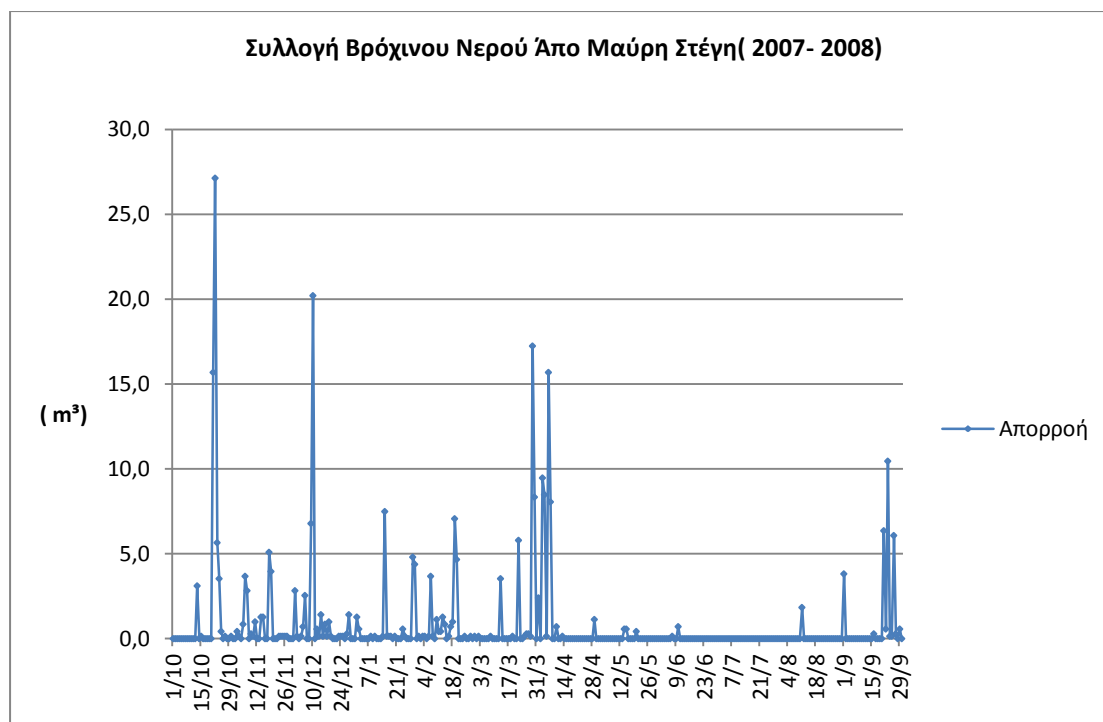
Οκτώβριος 2007 – Σεπτέμβριος 2008: Στις αρχές αυτής της περιόδου και μέχρι τις 15/10, που λαμβάνει χώρα μια σημαντικής ποσότητας βροχόπτωση, η στάθμη στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι σχεδόν μηδενική και για αυτό είναι αναγκαία η τροφοδοσία του συστήματος με πρόσθετο πόσιμο νερό. Σημειώνεται ότι στο συγκεκριμένο υδρολογικό έτος παρουσιάζεται μόνο μια υπερχειλίση του συστήματος, στις 7/4, η τιμή της οποίας είναι 30 m^3 . Τέλος, από τα μέσα Μαΐου έως και τα μέσα Σεπτεμβρίου λόγω ξηρασίας απαιτείται συχνά η προσθήκη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών (γράφημα 6.7 – 6.9).



Γράφημα 6.7 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2007 έως 9/2008

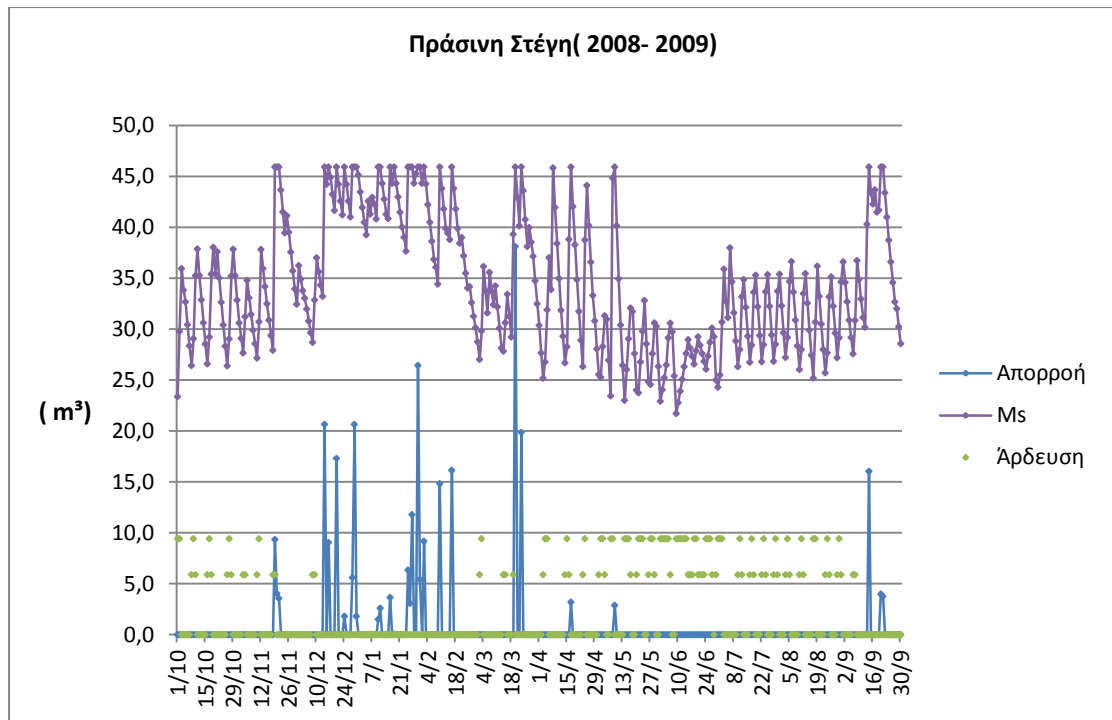


Γράφημα 6.8 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2007 έως 9/2008

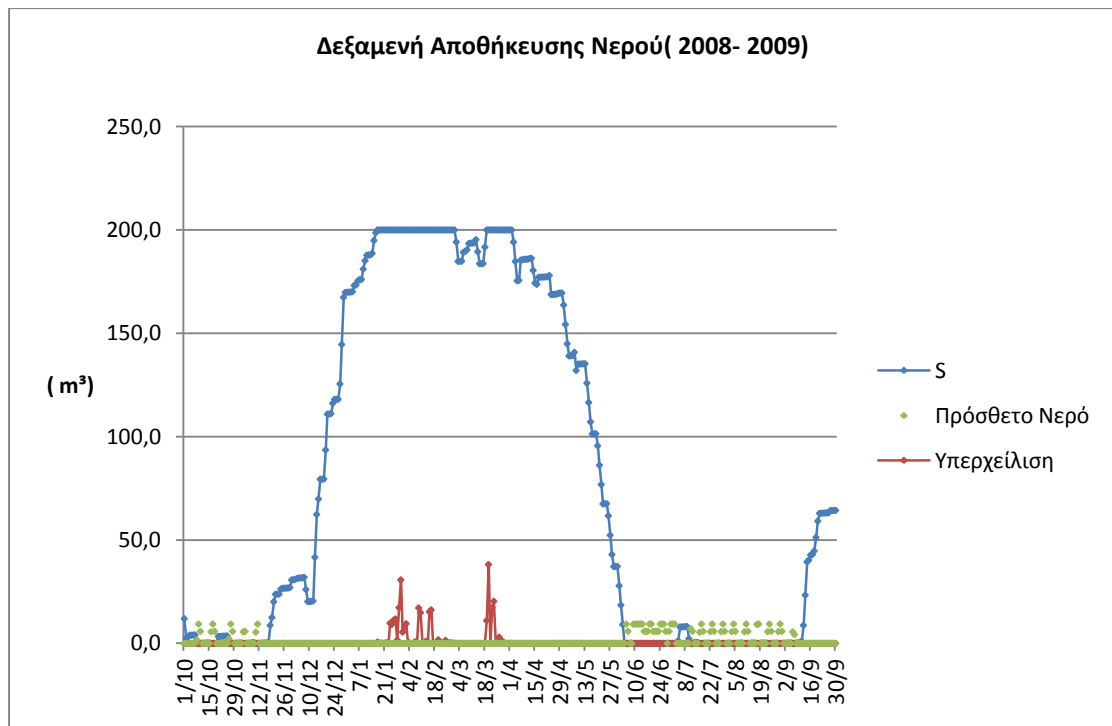


Γράφημα 6.9 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2007 έως 9/2008

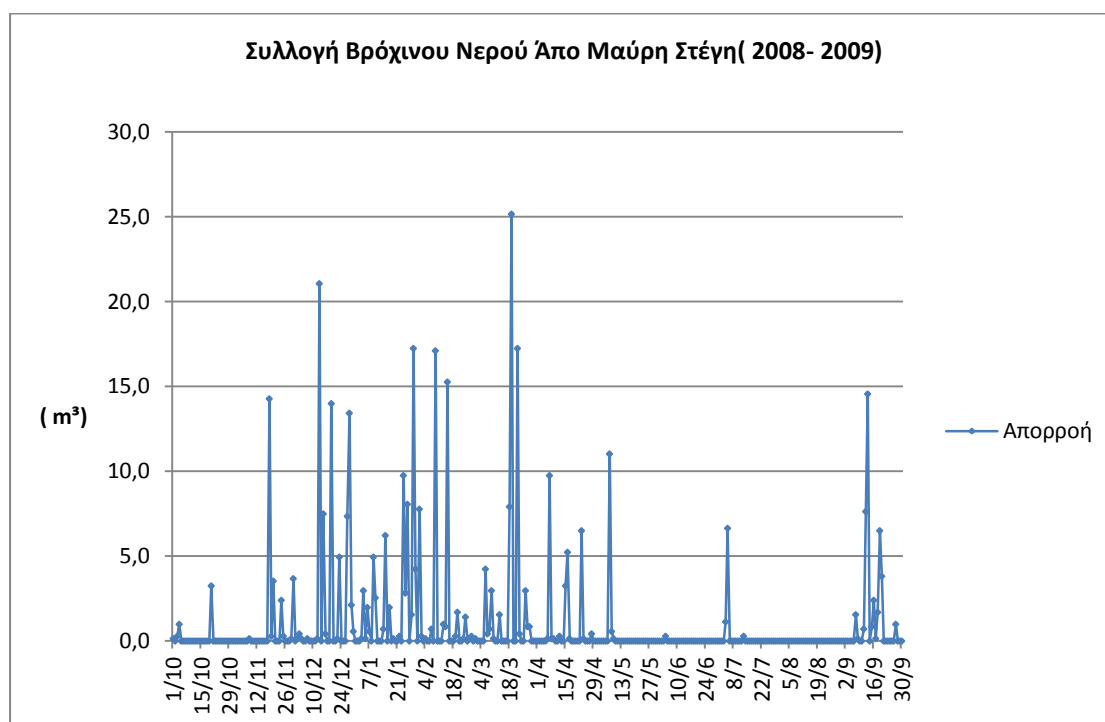
Οκτώβριος 2008 – Σεπτέμβριος 2009: Παρατηρείται ότι μέχρι τις 12/11, που λαμβάνει χώρα μια σημαντικής ποσότητας βροχόπτωση, η στάθμη στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι σχεδόν μηδενική και για αυτό είναι αναγκαία η τροφοδοσία του συστήματος με πρόσθετο πόσιμο νερό. Εν συνεχεία, από τις 21/1 έως και τις αρχές Απριλίου σημειώνονται αρκετές υπερχειλίσεις, οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 0 m^3 και 40 m^3 . Τέλος, από τα μέσα Ιουνίου έως και τα μέσα Σεπτεμβρίου απαιτείται συχνά η προσθήκη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών (γράφημα 6.10 – 6.12).



Γράφημα 6.10 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2008 έως 9/2009

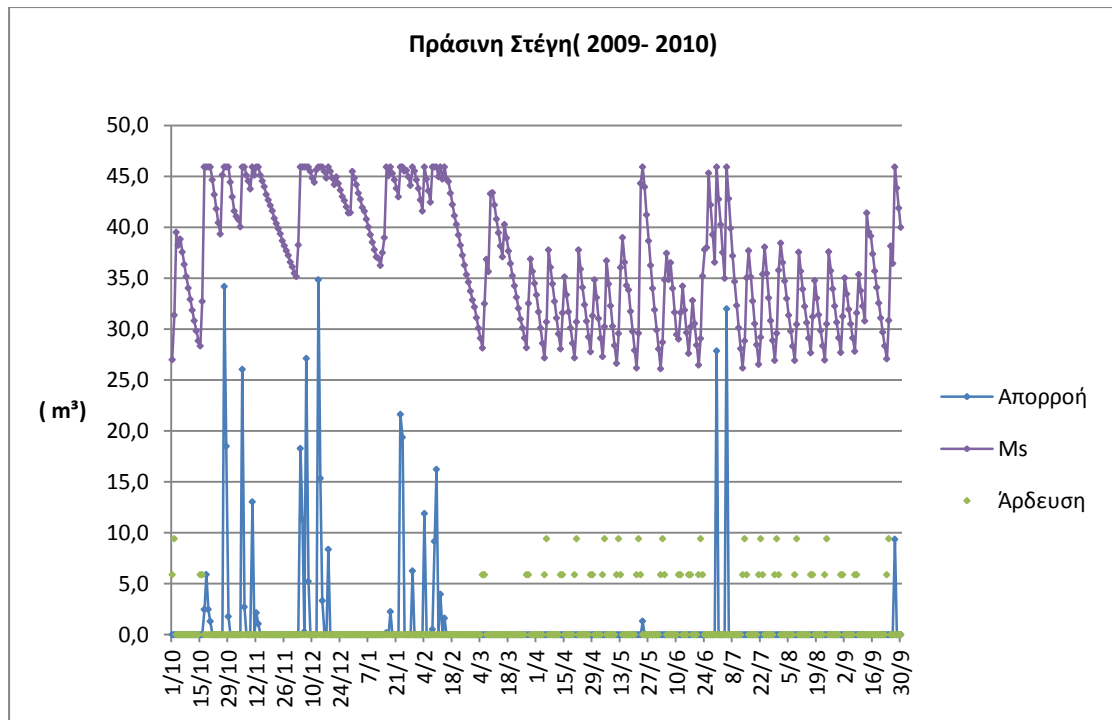


Γράφημα 6.11 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχείλισης της δεξαμενής την περίοδο 10/2008 έως 9/2009

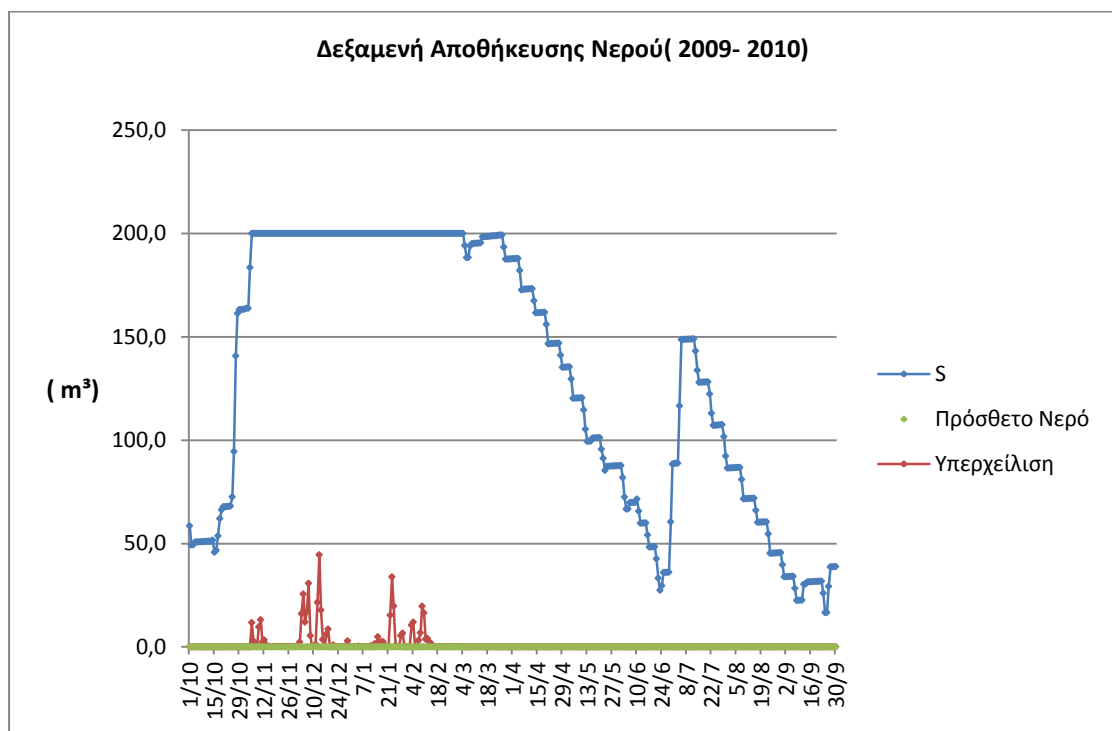


Γράφημα 6.12 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2008 έως 9/2009

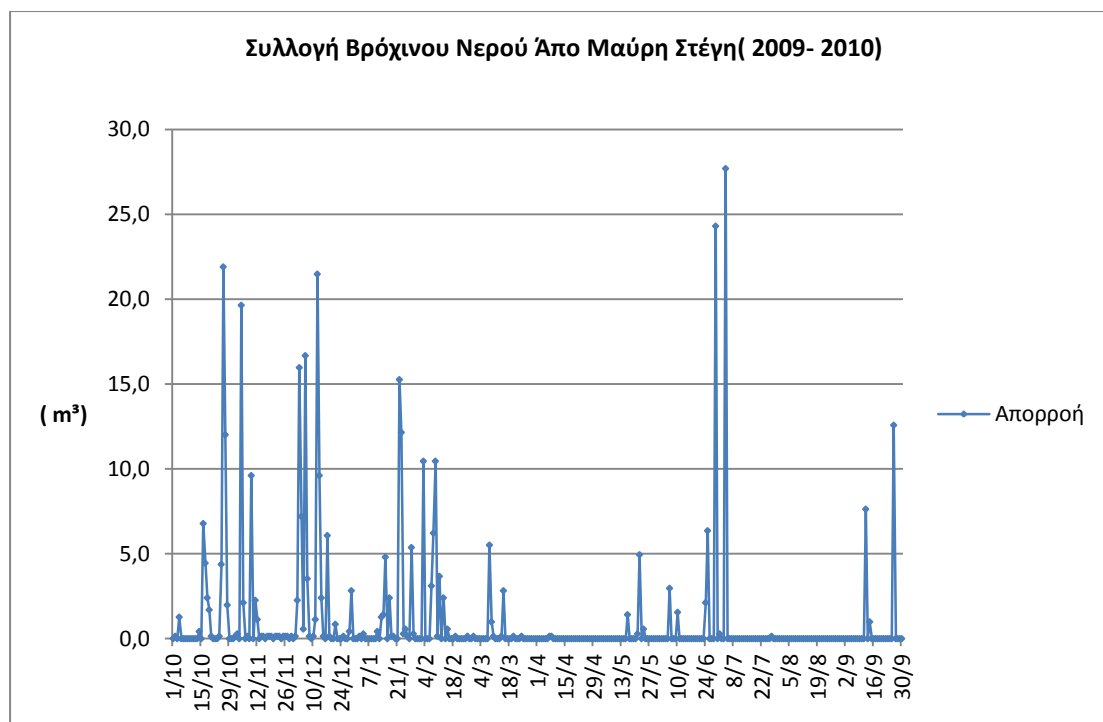
Οκτώβριος 2009 – Σεπτέμβριος 2010: Στην αρχή αυτού του υδρολογικού έτους, η στάθμη της δεξαμενής βρίσκεται στα 50 m³. Σημειώνονται υπερχειλίσεις του συστήματος κατά τους χειμερινούς μήνες της τάξεως των 40 m³. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού δεν αδειάζει καθ' όλη την περίοδο, με αποτέλεσμα οι ανάγκες για πρόσθετο νερό να είναι μηδενικές (γράφημα 6.13 – 6.15).



Γράφημα 6.13 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2009 έως 9/2010

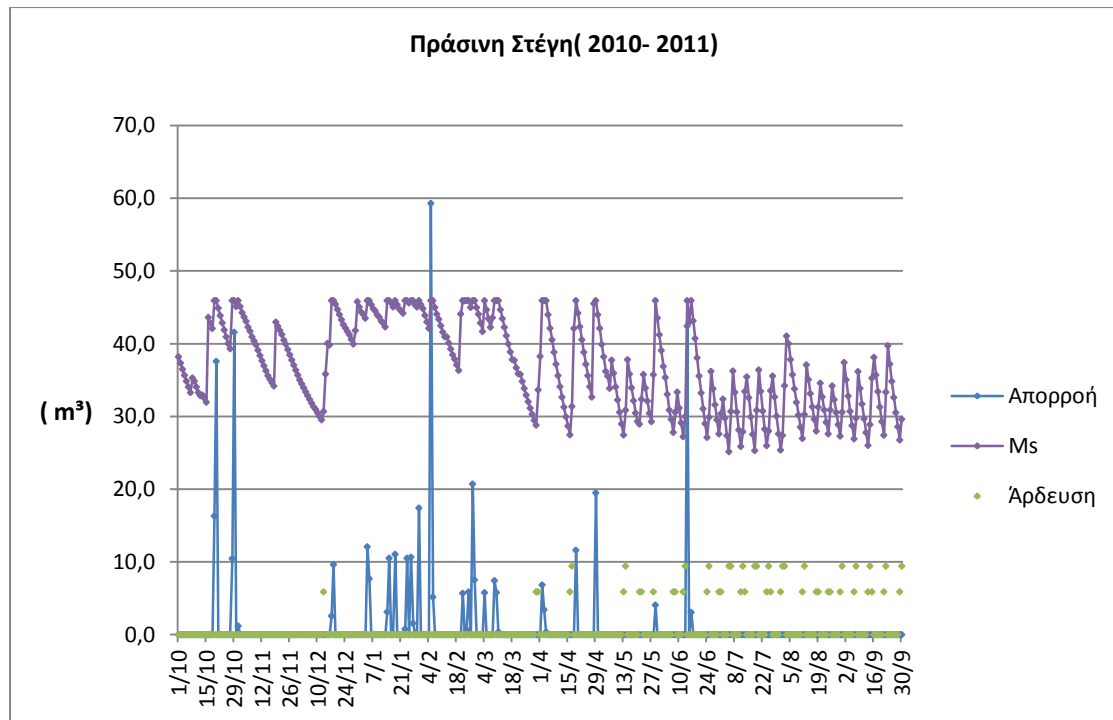


Γράφημα 6.14 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2009 έως 9/2010

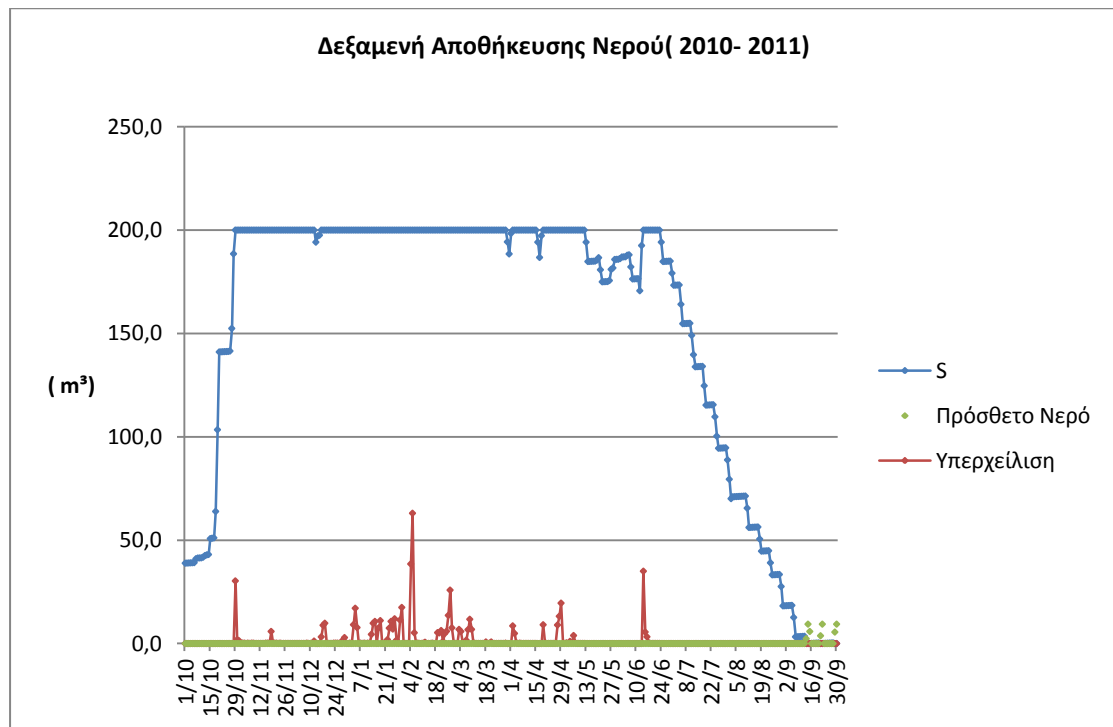


Γράφημα 6.15 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2009 έως 9/2010

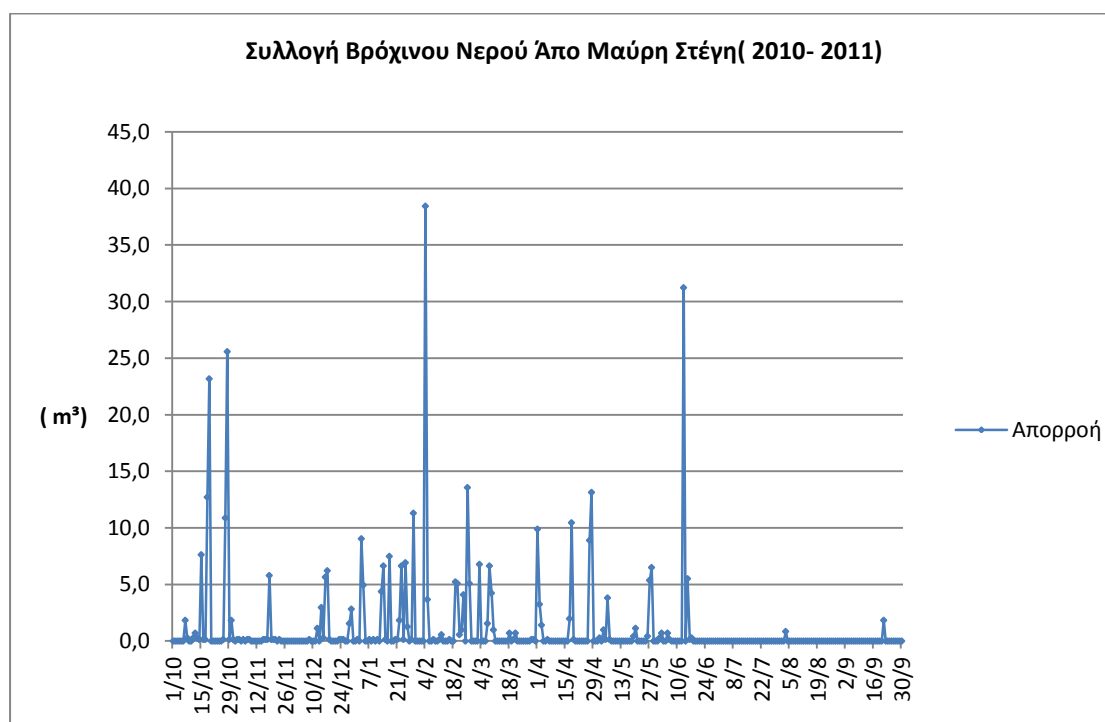
Οκτώβριος 2010 – Σεπτέμβριος 2011: Στην αρχή αυτού του υδρολογικού έτους, η στάθμη της δεξαμενής βρίσκεται στα 40 m^3 . Από τα τέλη του 2010 και για τους πρώτους μήνες του 2011, σημειώνονται αρκετές υπερχειλίσεις, εκ των οποίων η μέγιστη τιμή πραγματοποιείται στις 5/2 και ανέρχεται στα 60 m^3 . Επισημαίνεται ότι από τα μέσα Ιουνίου η στάθμη της δεξαμενής αποθήκευσης από τη μέγιστη τιμή των 200 m^3 μειώνεται σταδιακά έως ότου φτάσει στα μέσα Σεπτεμβρίου τη μηδενική τιμή. Έπειτα, κατά το τελευταίο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου απαιτείται προσθήκη νερού για την κάλυψη των αρδευτικών κυρίως αναγκών (γράφημα 6.16 – 6.18).



Γράφημα 6.16 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2010 έως 9/2011

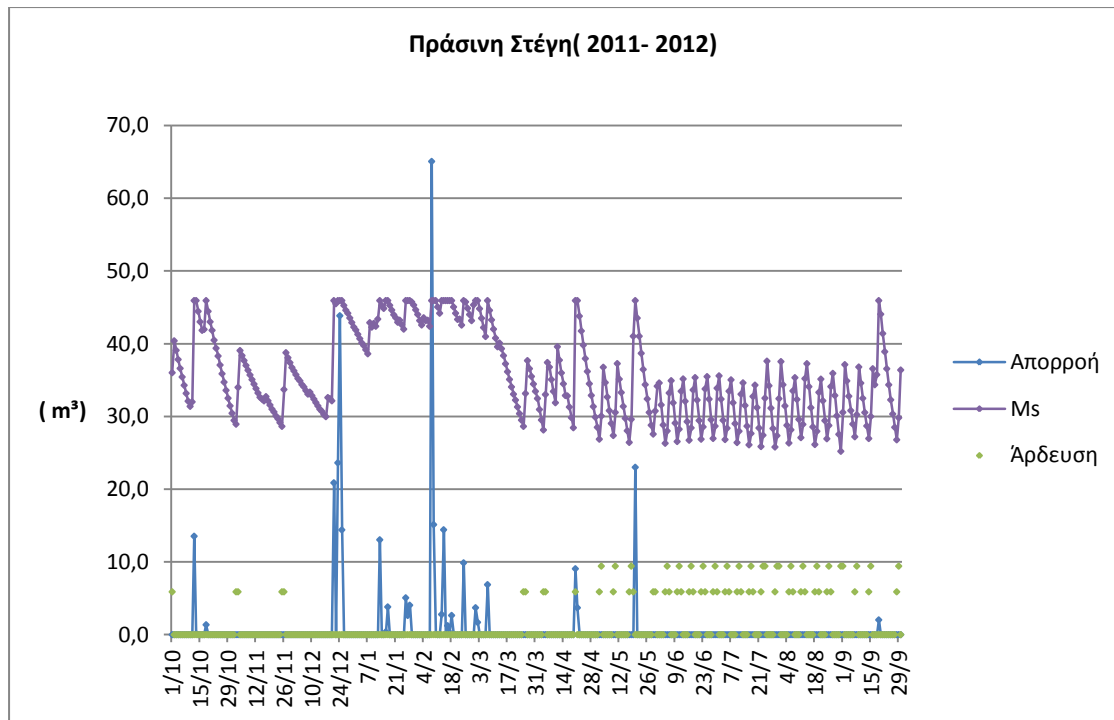


Γράφημα 6.17 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2010 έως 9/2011

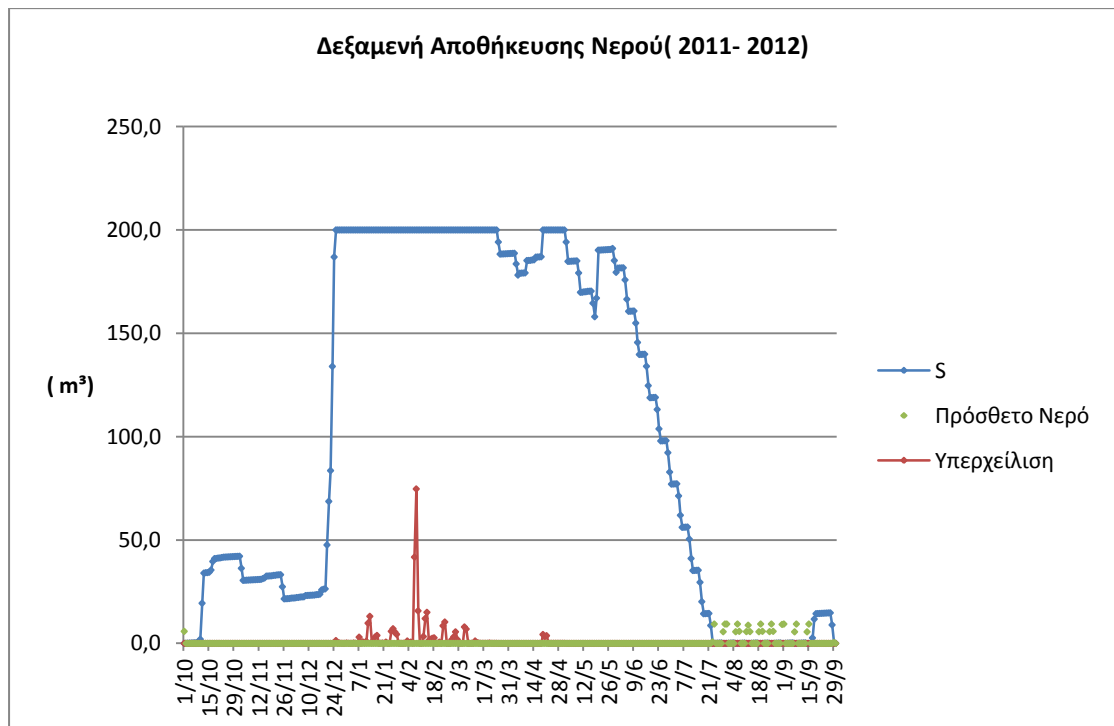


Γράφημα 6.18 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2010 έως 9/2011

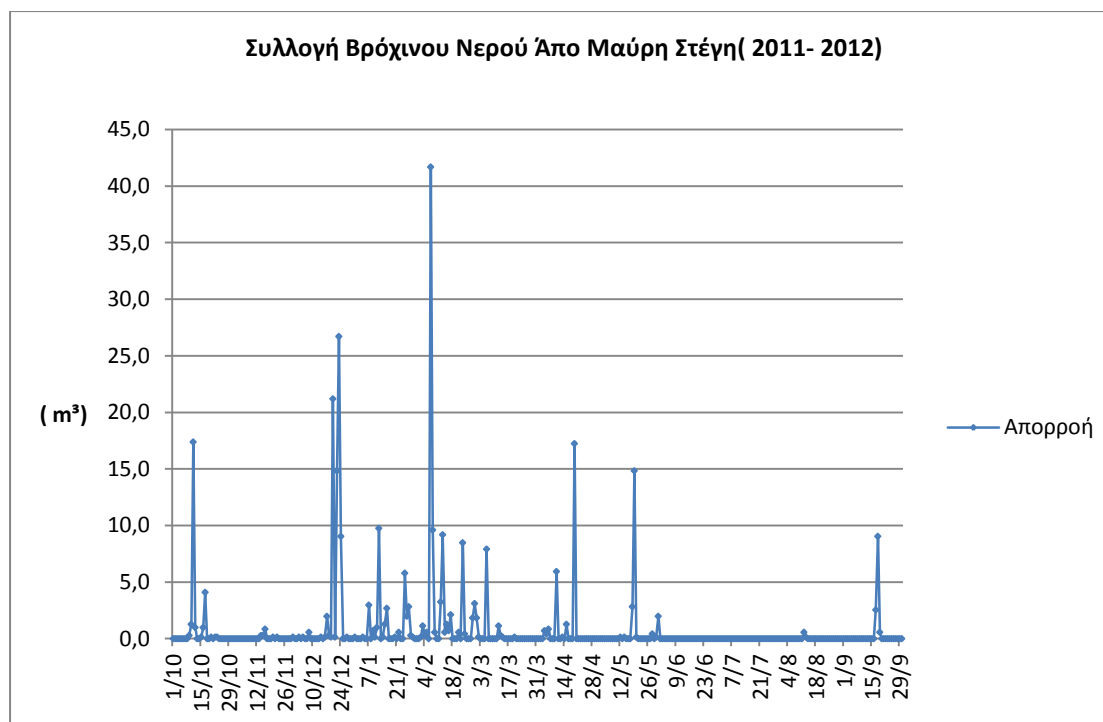
Οκτώβριος 2011 – Σεπτέμβριος 2012: Στην αρχή αυτού του υδρολογικού έτους, η δεξαμενή είναι άδεια. Λόγω βροχοπτώσεων την ίδια περίοδο δεν καθίσταται απαραίτητη η πρόσθεση νερού. Στις 24/12 η δεξαμενή αποθήκευσης φτάνει τη μέγιστη τιμή της, όπου και παραμένει έως και τα μέσα Μαρτίου. Σημειώνονται αρκετές υπερχειλίσεις εκείνο το διάστημα, εκ των οποίων η μέγιστη τιμή πραγματοποιείται στις 8/2 και ανέρχεται στα 75 m³. Εν συνεχεία, από τις αρχές του Ιουνίου η δεξαμενή αδειάζει σταδιακά έως ότου φτάσει στα μέσα Ιουλίου τη μηδενική τιμή. Έπειτα, μέχρι και το τελευταίο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου απαιτείται προσθήκη νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών (γράφημα 6.19 – 6.21).



Γράφημα 6.19 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2011 έως 9/2012



Γράφημα 6.20 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2011 έως 9/2012



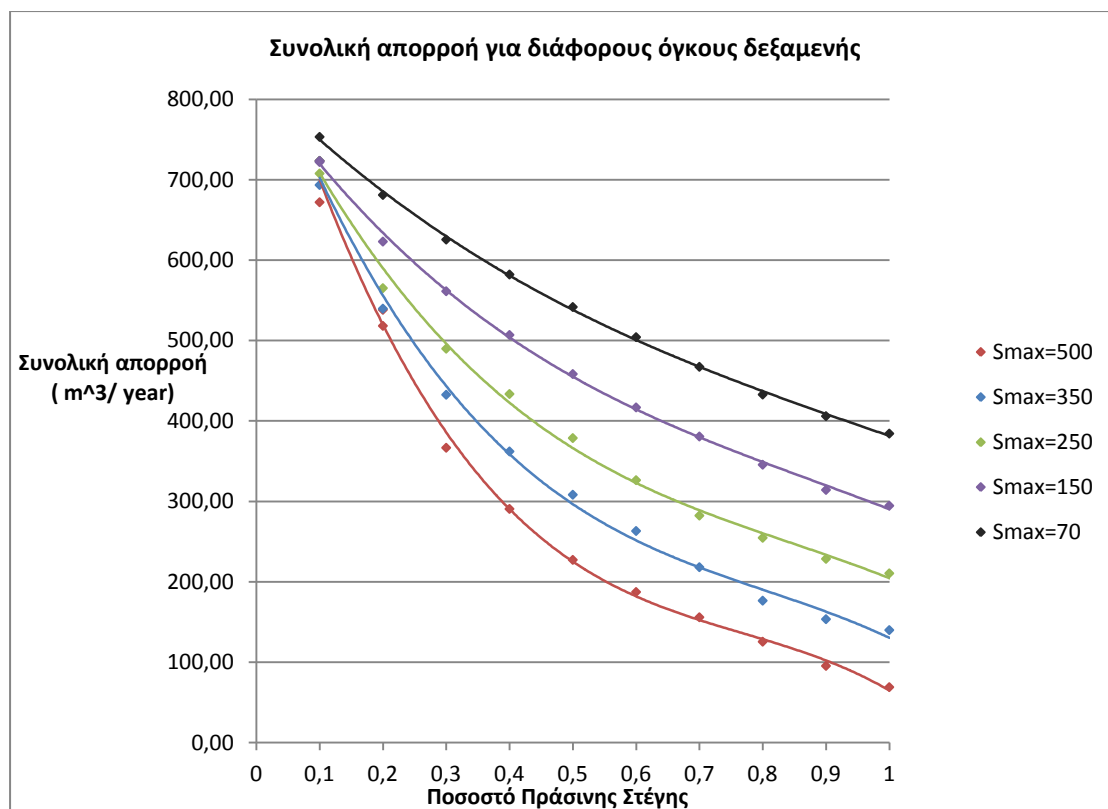
Γράφημα 6.21 Διακύμανση της απορροής από τη μαύρη στέγη την περίοδο 10/2011 έως 9/2012

6.3.2.2 Νομογραφήματα σχεδιασμού

Στο παρακάτω γράφημα (γράφημα 6.22) παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής απορροής σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης της ταράτσας με πράσινη στέγη, για διάφορους όγκους της δεξαμενής αποθήκευσης. Συνεπώς, με βάση αυτό το νομογράφημα, μπορεί να υπολογιστεί η αναμενόμενη συνολική απορροή για κάθε ποσοστό πράσινης στέγης και αντίστροφα. Η κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη χωρητικότητα της δεξαμενής (500 m^3 , 350 m^3 , 250 m^3 , 150 m^3 , 70 m^3).

Τα συμπεράσματα που δύναται να εξαχθούν είναι τα ακόλουθα:

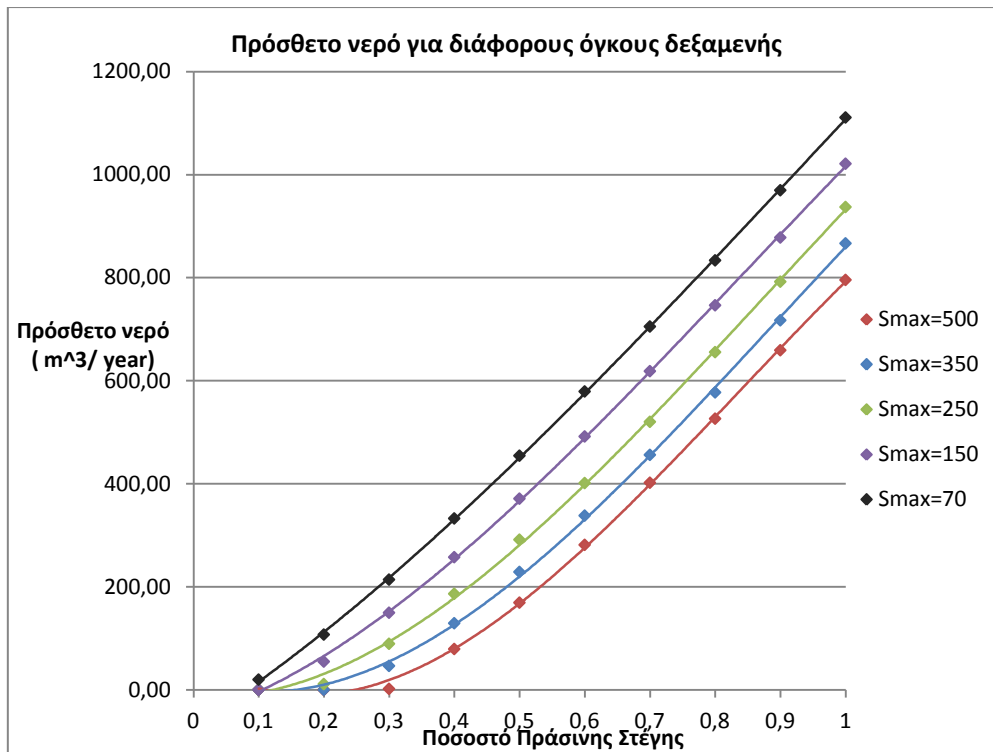
- Η αύξηση του ποσοστού πράσινης στέγης οδηγεί σε μείωση της συνολικής απορροής.
- Οι μικρότεροι όγκοι δεξαμενών αποθήκευσης επιφέρουν αύξηση της συνολικής απορροής.



Γράφημα 6.22 Υπολογισμός συνολικής απορροής για διάφορους όγκους δεξαμενής αποθήκευσης

Στο παρακάτω γράφημα (γράφημα 6.23) παρουσιάζεται η μεταβολή του πρόσθετου νερού σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης της ταράτσας με πράσινη στέγη, για διάφορους όγκους της δεξαμενής αποθήκευσης. Συνεπώς, με βάση αυτό το νομογράφημα μπορεί να υπολογιστεί η αναμενόμενη πρόσθετη ποσότητα νερού για κάθε ποσοστό πράσινης στέγης και αντίστροφα. Η κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη χωρητικότητα της δεξαμενής (500 m³, 350 m³, 250 m³, 150 m³, 70 m³). Τα συμπεράσματα που δύναται να εξαχθούν είναι τα ακόλουθα:

- Η αύξηση του ποσοστού πράσινης στέγης επιφέρει αύξηση στις ανάγκες χρήσης πρόσθετου νερού.
- Οι μικρότεροι όγκοι δεξαμενών αποθήκευσης οδηγούν σε αύξηση της ποσότητας πρόσθετου νερού.

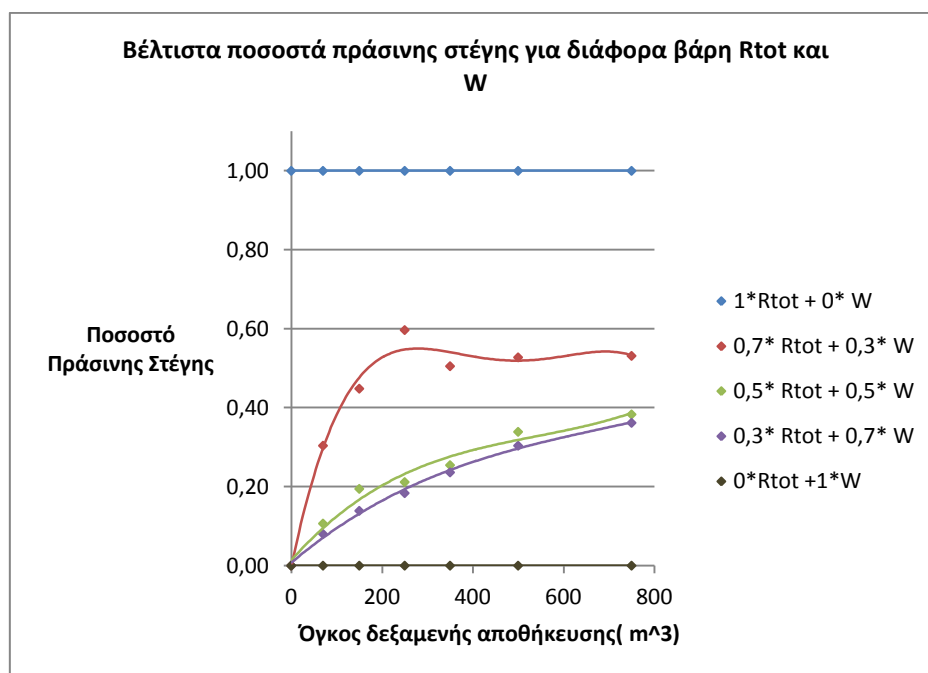


Γράφημα 6.23 Υπολογισμός ποσότητας πρόσθετου νερού για διάφορους όγκους δεξαμενής αποθήκευσης

6.3.2.3 Βελτιστοποίηση συστήματος

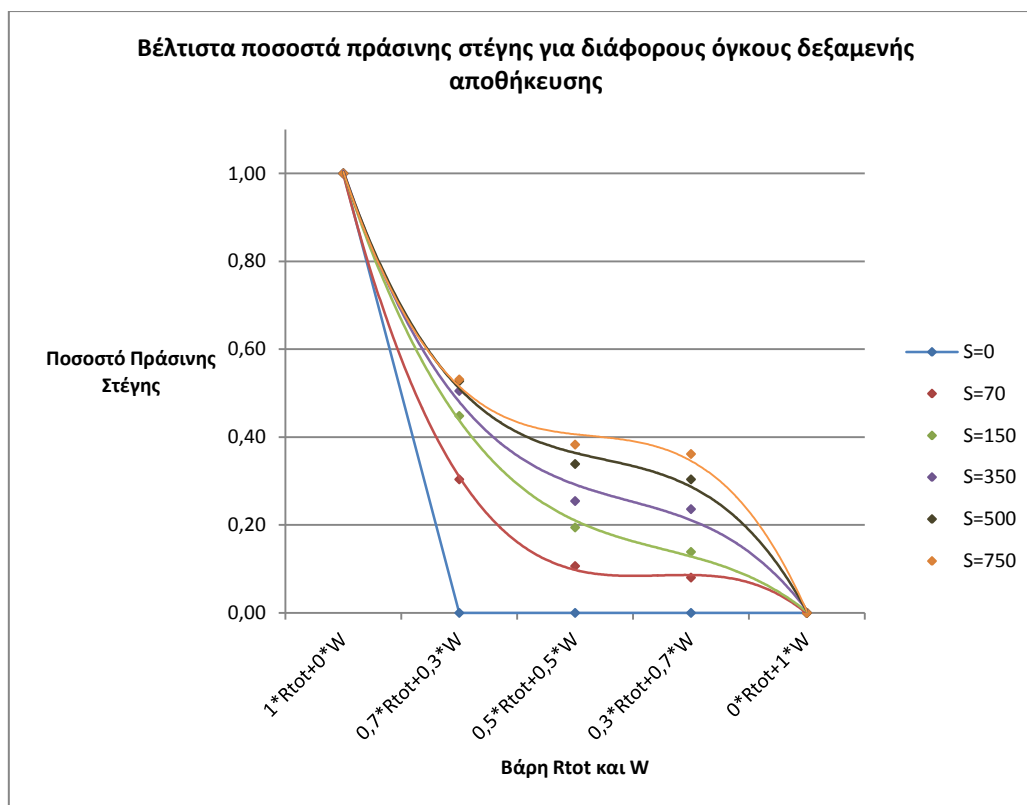
Στο γράφημα 6.24 παρουσιάζεται η μεταβολή του ποσοστού κάλυψης της ταράτσας με πράσινη στέγη σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης, για ποικίλες περιπτώσεις ενδιαφέροντος ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής και του πρόσθετου νερού. Συνεπώς, με βάση αυτό το νομογράφημα, δύναται να υπολογιστεί για κάθε όγκο σχεδιασμού της δεξαμενής αποθήκευσης το αντίστοιχο ποσοστό πράσινης στέγης και αντίστροφα. Η κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη βαρύτητα της ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής (R_{tot}) και του πρόσθετου νερού (W). Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

1. $1 \cdot R_{tot} + 0 \cdot W$,
2. $0,7 \cdot R_{tot} + 0,3 \cdot W$,
3. $0,5 \cdot R_{tot} + 0,5 \cdot W$,
4. $0,3 \cdot R_{tot} + 0,7 \cdot W$,

5. $0 \cdot R_{tot} + 1 \cdot W$ 

Γράφημα 6.24 Υπολογισμός βέλτιστων ποσοστών πράσινης στέγης για διάφορους όγκους δεξαμενής αποθήκευσης και ποικίλες περιπτώσεις ενδιαφέροντος ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής και του πρόσθετου νερού

Στο γράφημα 6.25 παρουσιάζεται η μεταβολή του ποσοστού κάλυψης της ταράτσας με πράσινη στέγη σε σχέση με το ενδιαφέρον ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής και του πρόσθετου νερού, για διάφορους όγκους της δεξαμενής αποθήκευσης. Συνεπώς, με βάση αυτό το νομογράφημα, δύναται να υπολογιστεί για συγκεκριμένο όγκο σχεδιασμού της δεξαμενής αποθήκευσης, το ποσοστό πράσινης στέγης που αντιστοιχεί σε οποιοδήποτε συνδυασμό βαρών βελτιστοποίησης της συνολικής απορροής και του πρόσθετου νερού και αντίστροφα. Η κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη χωρητικότητα της δεξαμενής (500 m^3 , 350 m^3 , 250 m^3 , 150 m^3 , 70 m^3).



Γράφημα 6.25 Υπολογισμός βέλτιστων ποσοστών πράσινης στέγης για διάφορους όγκους δεξαμενής αποθήκευσης και ποικίλες περιπτώσεις ενδιαφέροντος ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής και του πρόσθετου νερού

Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα ακόλουθα:

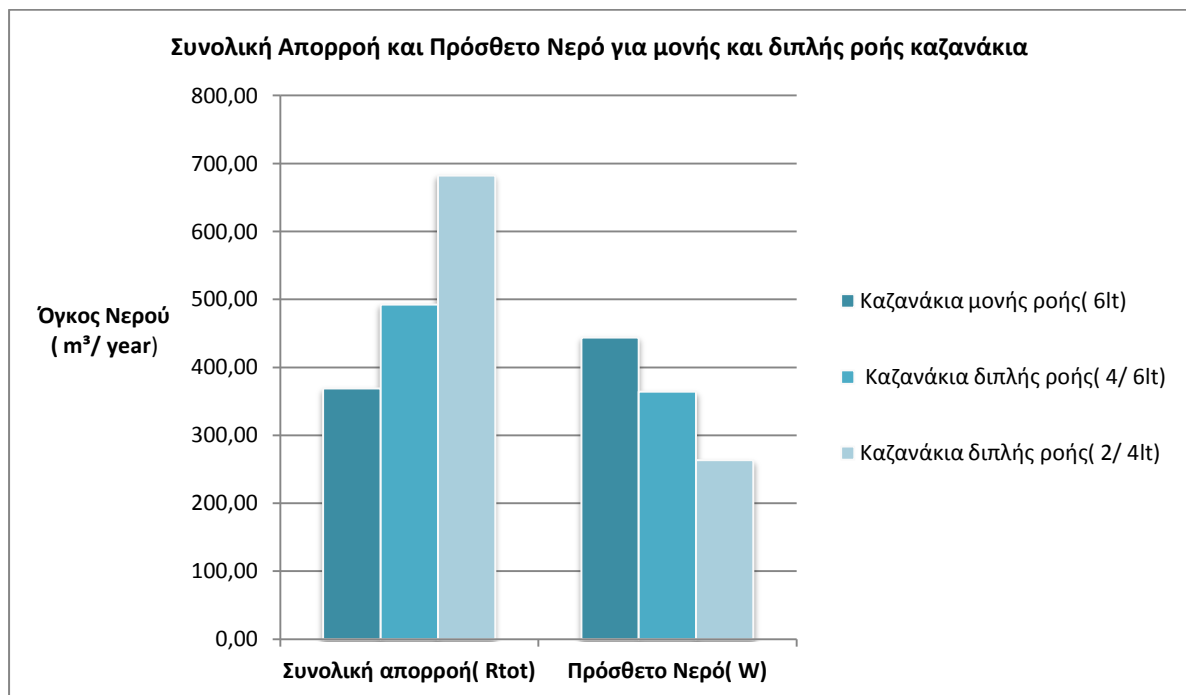
- Σε γενικές γραμμές, παρατηρείται αύξηση του ποσοστού της πράσινης στέγης όσο αυξάνεται η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης για συγκεκριμένη περίπτωση ενδιαφέροντος ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής και του πρόσθετου νερού.
- Στην περίπτωση που έχει ενδιαφέρον μόνο η ελαχιστοποίηση της συνολικής απορροής το ποσοστό της πράσινης στέγης είναι ανεξάρτητο του όγκου δεξαμενής αποθήκευσης και λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα.
- Στην περίπτωση που έχει ενδιαφέρον μόνο η ελαχιστοποίηση του πρόσθετου νερού το ποσοστό της πράσινης στέγης είναι ανεξάρτητο του όγκου δεξαμενής αποθήκευσης και λαμβάνει τιμή ίση με το μηδέν.

- Για συγκεκριμένο όγκο δεξαμενής αποθήκευσης νερού, όσο περισσότερη βαρύτητα έχει η ελαχιστοποίηση της συνολικής απορροής έναντι της προστιθέμενης ποσότητας νερού τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι και το ποσοστό κάλυψης με πράσινη στέγη.
- Στην περίπτωση που το βάρος της συνολικής απορροής είναι 0,7 και του προστιθέμενου νερού 0,3 παρατηρείται ότι ενώ στην αρχή το ποσοστό της πράσινης στέγης αυξάνεται με τον όγκο της δεξαμενής, εν συνεχεία, όταν αυτό προσεγγίζει την τιμή 0,6 μειώνεται. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, καθώς με την αύξηση του ποσοστού κάλυψης με πράσινη στέγη η αναγκαία προστιθέμενη ποσότητα νερού είναι τέτοια που επηρεάζει το αποτέλεσμα της βέλτιστης τιμής του συνδυασμού $0,7 \times R_{tot} + 0,3 \times W$ και έχει ως συνέπεια την ακόλουθη μείωση της επιφάνειας της πράσινης στέγης.

6.3.2.4 Διερεύνηση χαμηλής κατανάλωσης νερού στα καζανάκια

Έγινε η υπόθεση χρήσης διπλής ροής σε καζανάκια τόσο τεσσάρων/ έξι λίτρων όσο και δύο/ τεσσάρων λίτρων. Όλα τα άλλα δεδομένα παρέμειναν ίδια και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα στηλών (γράφημα 6.26). Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Η συνολική απορροή αυξάνεται όσο μειώνεται η ροή στα καζανάκια. Ενώ στα καζανάκια μονής ροής των 6 L ο ετήσιος όγκος συνολικής απορροής ανέρχεται στην τιμή των 370 m³, σε αυτά διπλής ροής (4 / 6 L) και (2 / 4 L) φθάνει την τιμή των 500 m³ και 680 m³.
- Η προστιθέμενη ποσότητα νερού μειώνεται όσο μειώνεται η ροή στα καζανάκια. Ενώ στα καζανάκια μονής ροής των 6 L η ετήσια ποσότητα του προστιθέμενου νερού ανέρχεται στην τιμή των 440 m³, σε αυτά διπλής ροής (4 / 6 L) και (2 / 4 L) φθάνει την τιμή των 370 m³ και 260 m³.

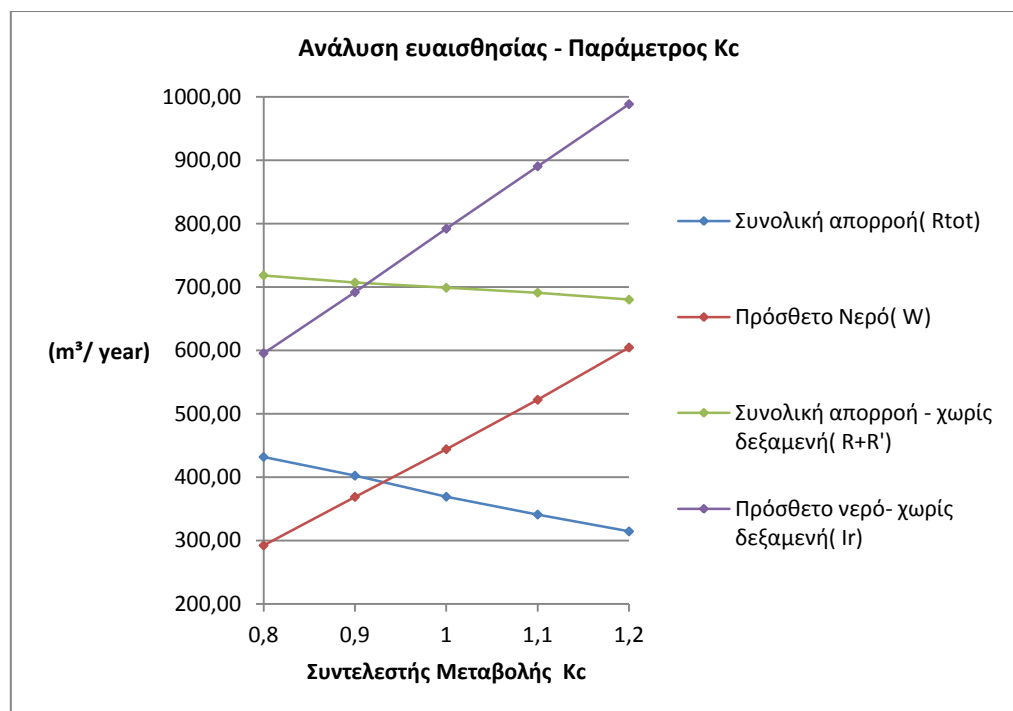


Γράφημα 6.26 Υπολογισμός συνολικής απορροής και πρόσθετου νερού για μονής και διπλής ροής καζανάκια

6.3.2.5 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων

Στο παρακάτω γράφημα (γράφημα 6.27) διαφαίνεται η επιρροή της μεταβολής του φυτικού συντελεστή στη συνολική απορροή και στην ποσότητα του πρόσθετου νερού. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις, σύστημα με ή χωρίς δεξαμενή αποθήκευσης νερού για την επαναχρησιμοποίηση του. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Και στις δυο περιπτώσεις, όσο αυξάνεται ο φυτικός συντελεστής τόσο αυξάνεται το αναγκαίο πρόσθετο νερό. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, καθώς με την αύξηση του συντελεστή η πραγματική εξατμοδιαπνοή τείνει να πλησιάσει περισσότερο τη δυνητική εξατμοδιαπνοή και οι ανάγκες για άρδευση μεγεθύνονται. Παρατηρείται ότι οι ετήσιες ανάγκες από 800 m³ που υπολογίστηκαν, με μια μεταβολή 20%, ανέρχονται κοντά στα 1000 m³ στην περίπτωση που το σύστημα δεν αποτελείται από δεξαμενή αποθήκευσης νερού.
- Όσο αυξάνεται ο φυτικός συντελεστής τόσο μειώνεται η συνολική απορροή. Το γεγονός αυτό είναι πιο έντονο στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει και δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι λόγω των αυξημένων αρδευτικών αναγκών η δεξαμενή αποθήκευσης δεν υπερχειλίζει τόσο συχνά, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνολική απορροή.

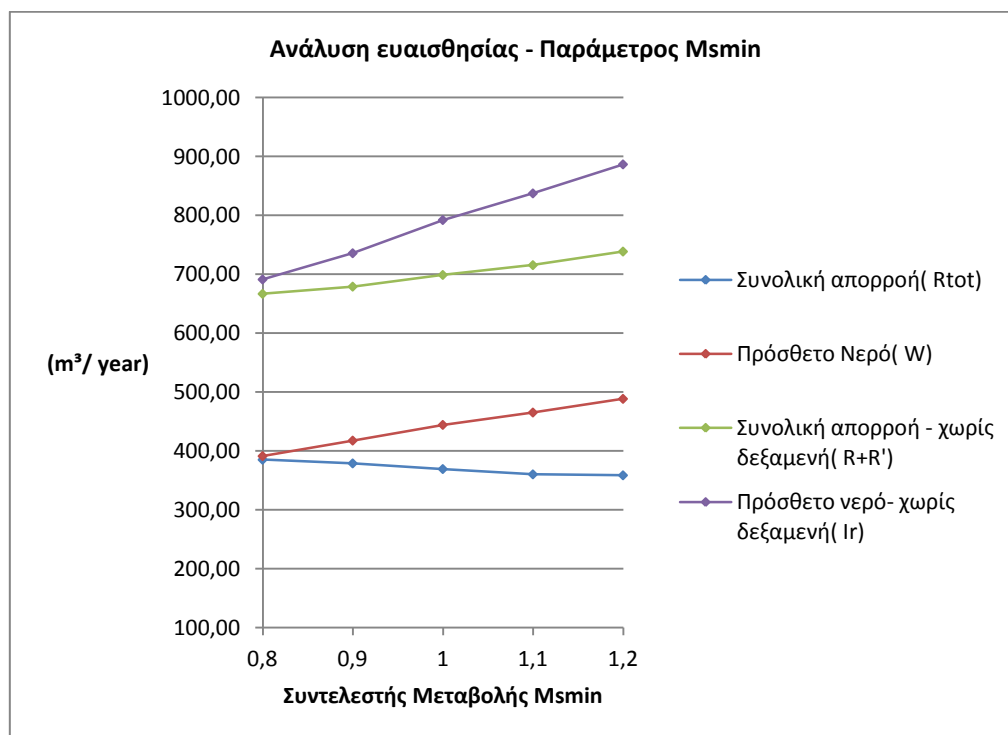


Γράφημα 6.27 Ανάλυση ευαισθησίας του φυτικού συντελεστή Kc

Στο παρακάτω γράφημα (γράφημα 6.28) διαφαίνεται η επιρροή της μεταβολής της ελάχιστης υγρασίας του εδαφικού υποστρώματος στη συνολική απορροχή και στην ποσότητα του πρόσθετου νερού. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις, με ή χωρίς δεξαμενή αποθήκευσης νερού για την επαναχρησιμοποίηση του. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Και στις δυο περιπτώσεις, όσο αυξάνεται η ελάχιστη εδαφική υγρασία τόσο αυξάνεται το αναγκαίο πρόσθετο νερό. Σημειώνεται ότι οι ετήσιες ανάγκες από 800 m^3 που υπολογίστηκαν, με μια μεταβολή 20%, ανέρχονται κοντά στα 900 m^3 στην περίπτωση που το σύστημα δεν περιλαμβάνει δεξαμενή, ενώ μεταβάλλονται αντίστοιχα από 450 m^3 σε 500 m^3 όταν υπάρχει δεξαμενή για επαναχρησιμοποίηση του νερού.
- Στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, όσο αυξάνεται η ελάχιστη υγρασία του εδαφικού υποστρώματος η

συνολική απορροή μειώνεται σε μικρό βαθμό. Αντίθετα, χωρίς δεξαμενή, η συνολική απορροή αυξάνεται. Μια πιθανή εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι ότι με την αύξηση της ελάχιστης εδαφικής υγρασίας, μειώνεται το διαθέσιμο για τα φυτά νερό που αποθηκεύεται στο εδαφικό υπόστρωμα και αυξάνεται η αναγκαία ποσότητα άρδευσης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μικρή αύξηση της απορροής από την πράσινη στέγη και συνεπώς και της συνολικής απορροής για το σύστημα που δεν αποτελείται από δεξαμενή αποθήκευσης. Στην αντίθετη περίπτωση, η μικρή αυτή αύξηση συντελεί σε λίγο μεγαλύτερες ποσότητες εισροών της δεξαμενής, αλλά παράλληλα, λόγω αυξημένων αρδευτικών αναγκών, παρατηρείται λιγότερος αριθμός υπερχειλίσεων.

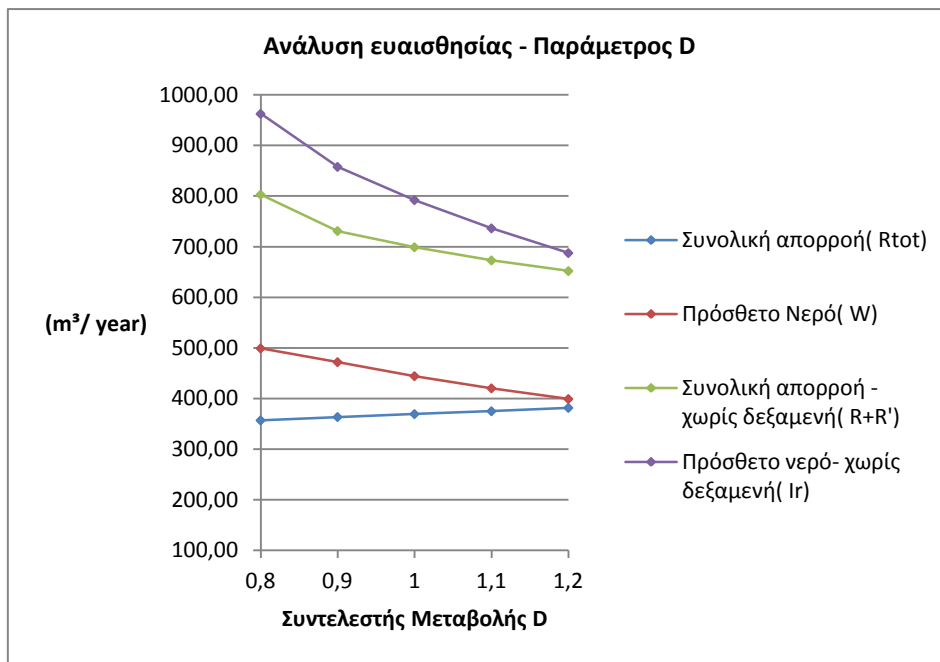


Γράφημα 6.28 Ανάλυση ευαισθησίας της ελάχιστης εδαφικής υγρασίας M_{smin}

Στο παρακάτω γράφημα (γράφημα 6.29) διαφαίνεται η επιρροή της μεταβολής του πάχους του εδαφικού υποστρώματος στη συνολική απορροή και στην ποσότητα του πρόσθετου νερού. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις, με ή χωρίς δεξαμενή αποθήκευσης νερού για την επαναχρησιμοποίηση του. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Και στις δυο περιπτώσεις, όσο αυξάνεται το πάχος του εδαφικού υποστρώματος τόσο μειώνεται το αναγκαίο πρόσθετο νερό. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό, καθώς η ανωτέρω αύξηση συντελεί σε μεγαλύτερη συγκράτηση νερού από το υπόστρωμα ανάπτυξης βλάστησης (αύξηση Ms_{max}) και σε χαμηλότερες αρδευτικές ανάγκες. Σημειώνεται ότι οι ετήσιες ανάγκες από 800 m^3 που υπολογίστηκαν, με μια μεταβολή 20%, ανέρχονται κοντά στα 680 m^3 στην περίπτωση που το σύστημα δεν περιλαμβάνει δεξαμενή, ενώ μεταβάλλονται αντίστοιχα από 450 m^3 σε 400 m^3 όταν υπάρχει δεξαμενή για επαναχρησιμοποίηση του νερού.
- Στην περίπτωση που το σύστημα δεν περιλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, όσο αυξάνεται το πάχος του εδαφικού υποστρώματος, η συνολική απορροή μειώνεται. Αυτό συμβαίνει λόγω μεγαλύτερης συγκράτησης νερού από το σύστημα. Στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, η συνολική απορροή αυξάνεται σε μικρό βαθμό (από 370 m^3 με μια μεταβολή 20% σε 390 m^3). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνεται η μέγιστη εδαφική υγρασία του υποστρώματος (Ms_{max}) και συνεπώς η διαθέσιμη ποσότητα νερού για τα φυτά. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεγάλη μείωση της άρδευσης ($I_{r2} \ll I_{r1}$). Παράλληλα, η απορροή από τη μαύρη στέγη παραμένει σταθερή, ενώ αυτή από την πράσινη στέγη μειώνεται σε μικρό βαθμό. Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο της δεξαμενής

αποθήκευσης παρατηρείται αύξηση της ποσότητας νερού που υπερχειλίζει από τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού και συνεπώς αύξηση της συνολικής απορροής.



Γράφημα 6.29 Ανάλυση ευαισθησίας του πάχους του εδαφικού υποστρώματος D

6.3.2.6 Υπολογισμός λανθάνουσας θερμότητας

Οι πράσινες στέγες, όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά και προηγουμένως, συντελούν στη μείωση του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας. Ένας από τους βασικούς λόγους αυτού του οφέλους προέρχεται από την ύπαρξη του στρώματος βλάστησης. Ειδικότερα, λόγω της εξατμοδιαπνοής, μειώνεται η θερμοκρασία του γύρω αέρα. Με άλλα λόγια, το νερό αντλεί θερμότητα καθώς εξατμίζεται με αποτέλεσμα να ψύχεται ο αέρας που περιβάλλει τα φυτά κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας. Η σχέση που περιγράφει τη διαθέσιμη ενέργεια (E_n) για να πραγματοποιηθεί το φαινόμενο της εξατμοδιαπνοής είναι η εξής:

$$E_n = 0.000278 \times d \times A \times ET \times \rho_w \times \lambda \text{ (kWh / day)} \text{ (Rozos et al., 2013)}$$

Όπου A : το εμβαδόν της επιφάνειας που πραγματοποιείται η εξατμοδιαπνοή (m^2)

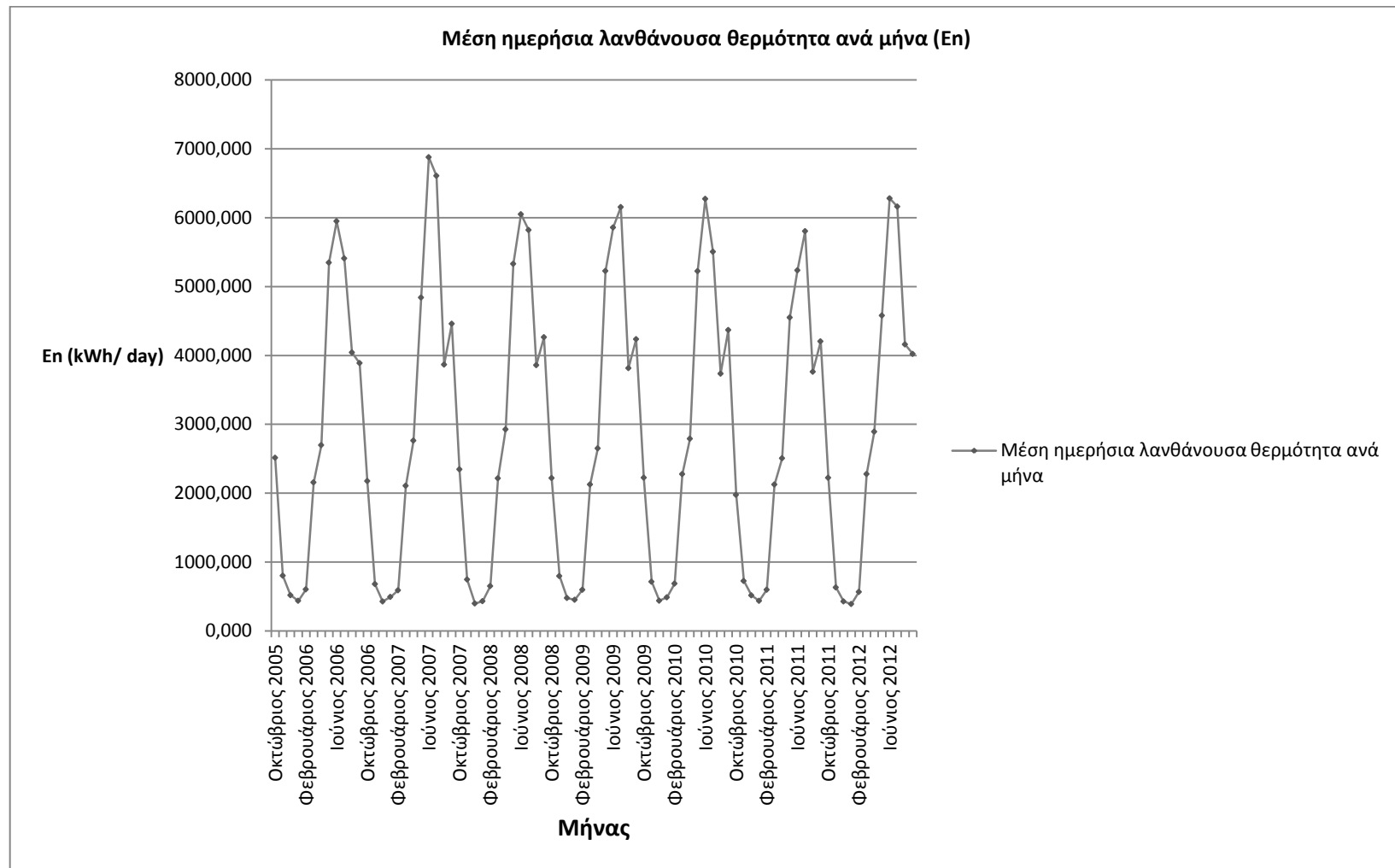
ET : η πραγματική εξατμοδιαπνοή (m^3/month)

ρ_w : η πυκνότητα του νερού (kg/m^3)

λ : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (KJ/kg)

d : οι μέρες του αντίστοιχου μήνα

Στο γράφημα 6.30 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης ημερήσιας λανθάνουσας θερμότητας για κάθε μήνα της περιόδου μελέτης του συστήματος πράσινης στέγης και συλλογής βρόχινου νερού. Παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές αυτής πραγματοποιούνται το καλοκαίρι, τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, όπου η εξατμοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη, και αντίθετα οι ελάχιστες τιμές καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια των οποίων η διεργασία της εξατμοδιαπνοής είναι μικρή:

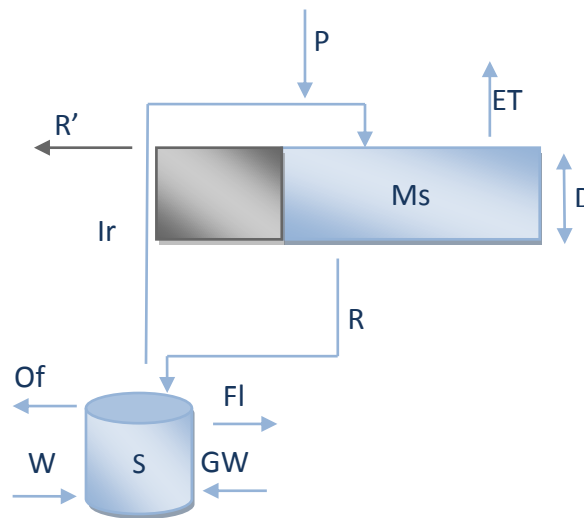


Γράφημα 6.30 Μέση ημερήσια λανθάνουσα θερμότητα ανά μήνα κατά την περίοδο μελέτης (2005 – 2012)

6.3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ (ΧΩΡΙΣ ΣΥΛΛΟΓΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΜΑΥΡΗ ΣΤΕΓΗ)

6.3.3.1 Γενικά στοιχεία

Στην τσάρα της Εθνικής Πινακοθήκης μελετάται η κατασκευή μόνο πράσινης στέγης, χωρίς την πρόσθετη τεχνολογία της συλλογής βρόχινου νερού από μαύρη στέγη. Τα δεδομένα είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην παραπάνω μελέτη του συνδυασμού τους, με τη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιείται δεξαμενή αποθήκευσης νερού χωρητικότητας 60 m³. Για την μαθηματική περιγραφή του μοντέλου πράσινης στέγης χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση ισοζυγίου μάζας, η οποία παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 6.4:



Εικόνα 6.4 Αναπαράσταση Μοντέλου πράσινης στέγης

Καταστρώθηκαν δυο εξισώσεις υδρολογικού ισοζυγίου, μια για την πράσινη στέγη και μια για τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού:

Ισοζύγιο Πράσινης Στέγης

$$P + Ir - ET - R = Ms$$

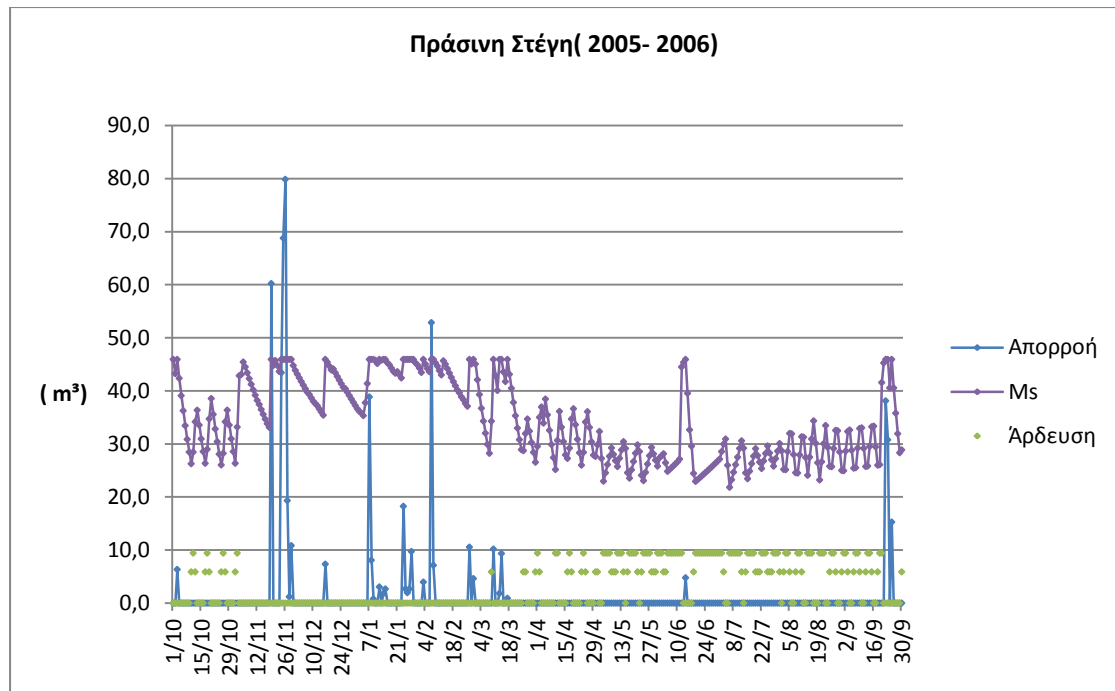
Ισοζύγιο Δεξαμενής Αποθήκευσης Νερού

$$R + GW + W - Fl - Of - Ir = S$$

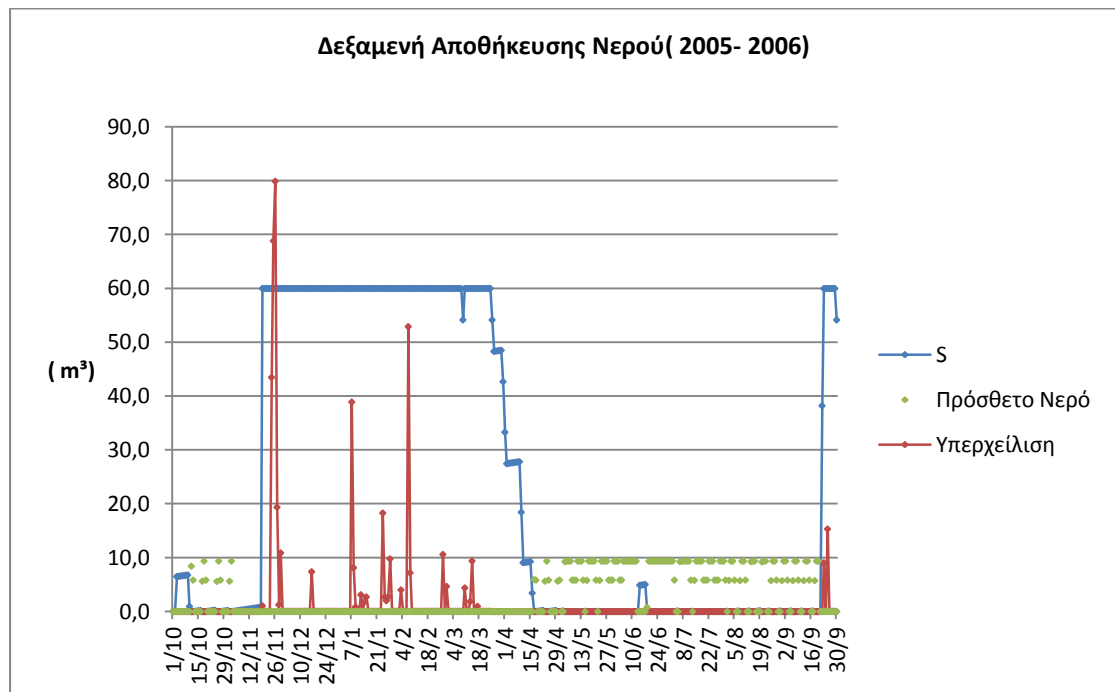
6.3.3.2 Αποτελέσματα - Γραφήματα

Στα παρακάτω γραφήματα (γράφημα 6.31 έως 6.51) παρουσιάζεται η διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών, της αναγκαίας ποσότητας άρδευσης, της αποθηκευμένης για επαναχρησιμοποίηση ποσότητας νερού, του πρόσθετου νερού, της υπερχειλίσης της δεξαμενής αποθήκευσης και της συνολικής απορροής. Το χρονικό βήμα είναι ημερήσιο και ο όγκος νερού δίνεται σε κυβικά μέτρα. Κάθε διάγραμμα αναφέρεται σε ένα υδρολογικό έτος.

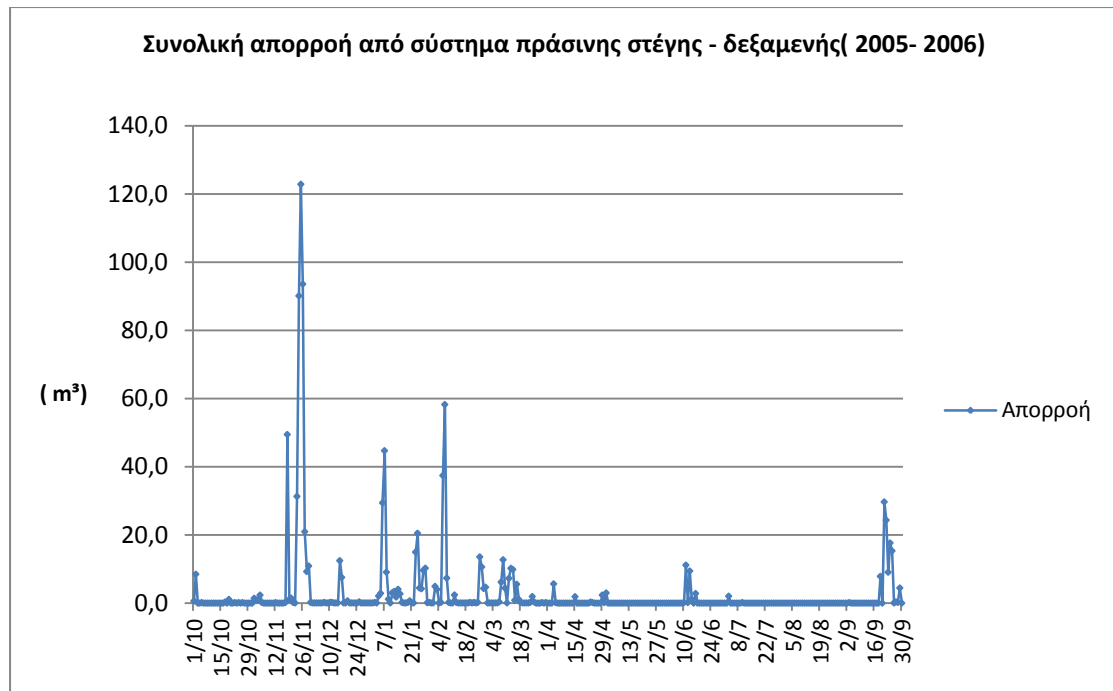
Κατά το μεγαλύτερο μέρος της χρονικής περιόδου διεξαγωγής της συγκεκριμένης μελέτης, η προσθήκη πόσιμου νερού κρίνεται αναγκαία. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, αν αναλογιστεί κανείς, ότι η Αθήνα χαρακτηρίζεται από ξηρό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα. Συνέπεια αυτών των χαρακτηριστικών είναι οι λίγες βροχοπτώσεις και οι αυξημένες ανάγκες των φυτών για νερό. Παράλληλα, το γκρι νερό από τους νιπτήρες της Εθνικής Πινακοθήκης καλύπτει μόνο τη ζήτηση για τα καζανάκια. Οι παραπάνω λόγοι συντελούν στη χρήση μεγάλης ποσότητας πόσιμου νερού για την αποφυγή αστοχίας της πράσινης στέγης. Συγκεκριμένα, η μέση ετήσια τιμή της απαραίτητης προστιθέμενης ποσότητας ανέρχεται στα 635,46 m³ και οι μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες απαιτούνται κατά την περίοδο Μαΐου – Σεπτεμβρίου. Όσον αφορά στις υπερχειλίσεις της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού, αυτές λαμβάνουν χώρα κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά σε ορισμένα υδρολογικά έτη και τους μήνες του Οκτωβρίου και του Νοεμβρίου. Αναφέρονται ενδεικτικά οι αιχμές που πραγματοποιήθηκαν στις 26/11/2005, στις 7/2/2006, στις 5/2/2011 και στις 8/2/2012, οι οποίες έλαβαν τιμές ίσες με 80 m³, 52 m³, 59 m³ και 65 m³ αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι η υπερχειλίση της δεξαμενής αποθήκευσης νερού σε συνδυασμό με την απορροή από τη μαύρη στέγη οδηγεί σε αυξημένη συνολική απορροή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι παρακάτω ημερομηνίες: 25/11/2005 με όγκο που ανέρχεται στα 122 m³ και 8/2/2012 με όγκο που ανέρχεται στα 75 m³. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα υδρολογικά έτη 2006 -2007 και 2007 – 2008 η δεξαμενή αποθήκευσης νερού υπερχειλίσε ελάχιστες φορές (δύο και τρεις αντίστοιχα), ενώ η διακύμανση της συνολικής απορροής ήταν παρόμοια με τα υπόλοιπα έτη.



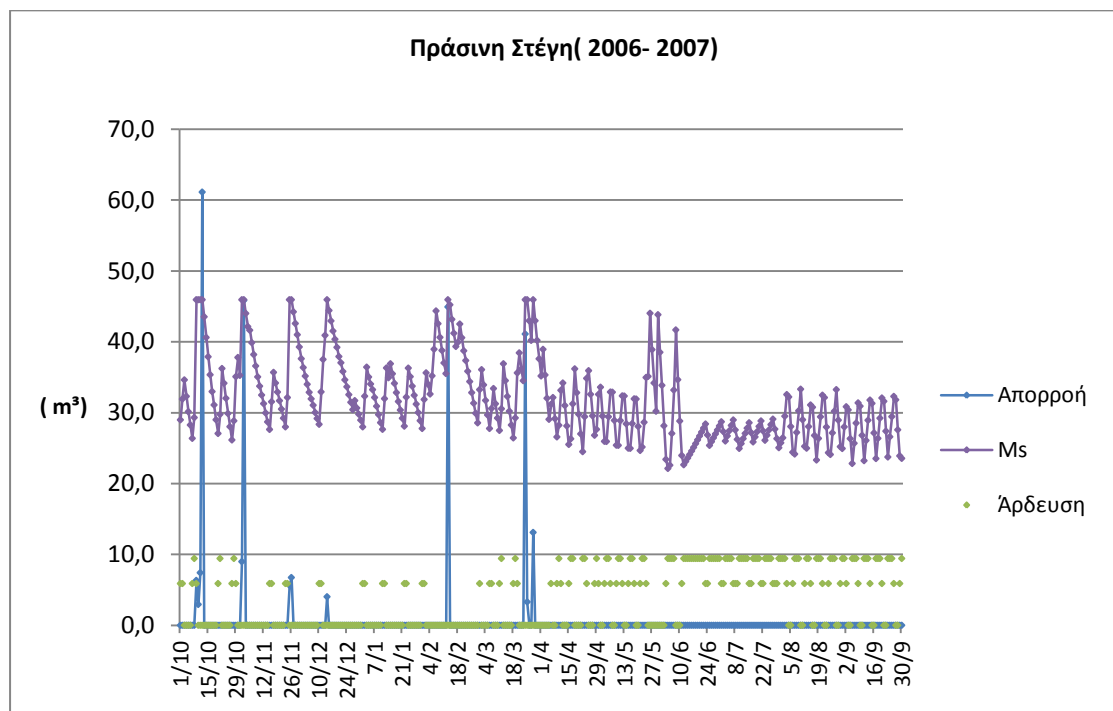
Γράφημα 6.31 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2005 έως 9/2006



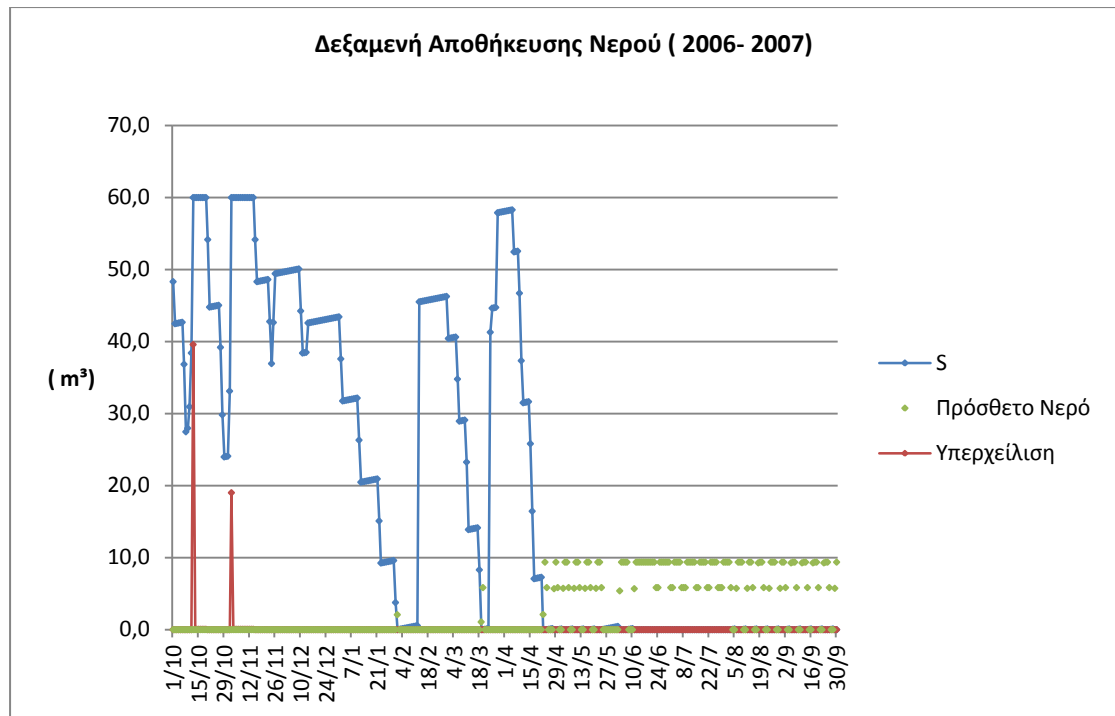
Γράφημα 6.32 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2005 έως 9/2006



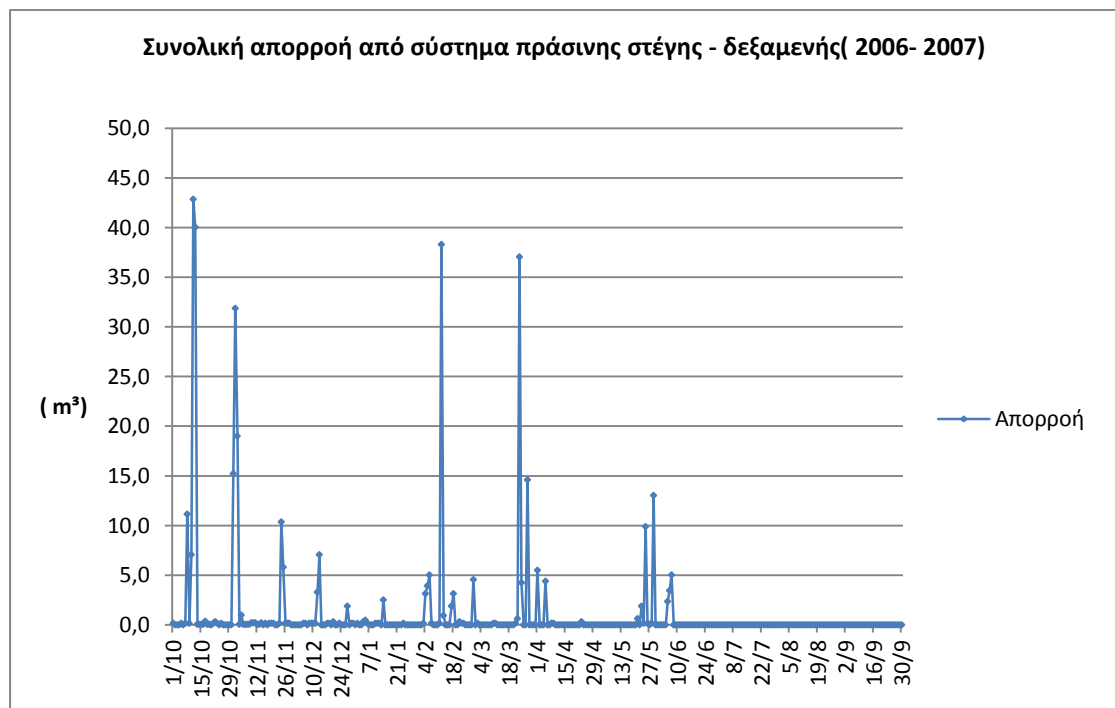
Γράφημα 6.33 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2005 έως 9/2006



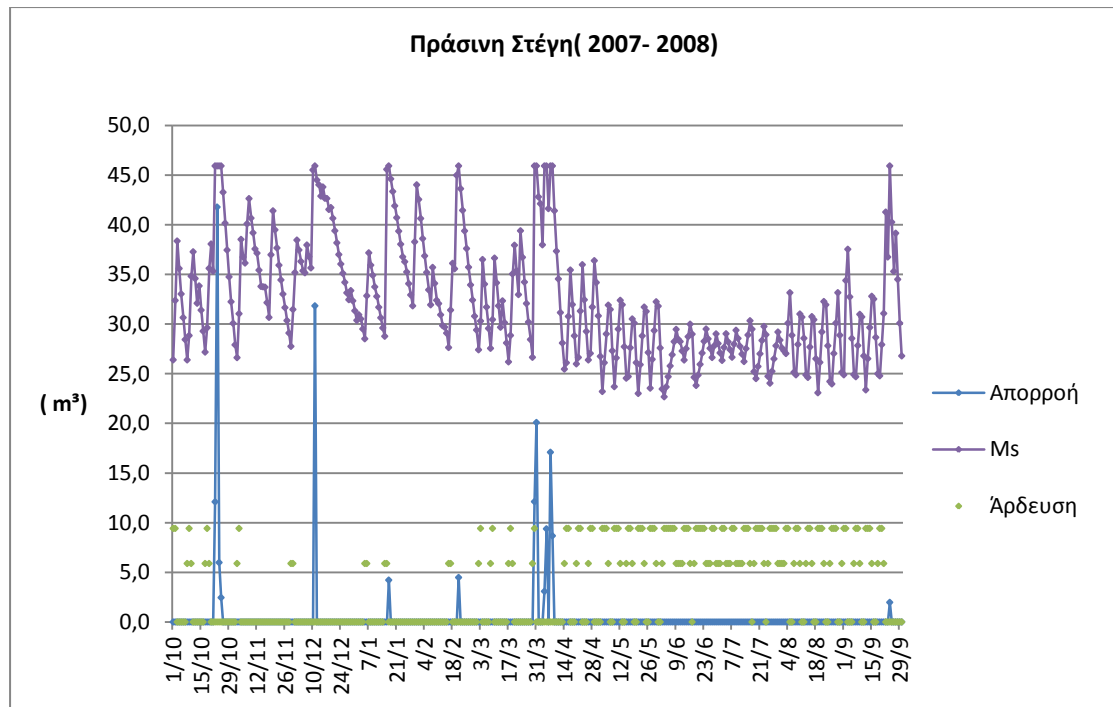
Γράφημα 6.34 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2006 έως 9/2007



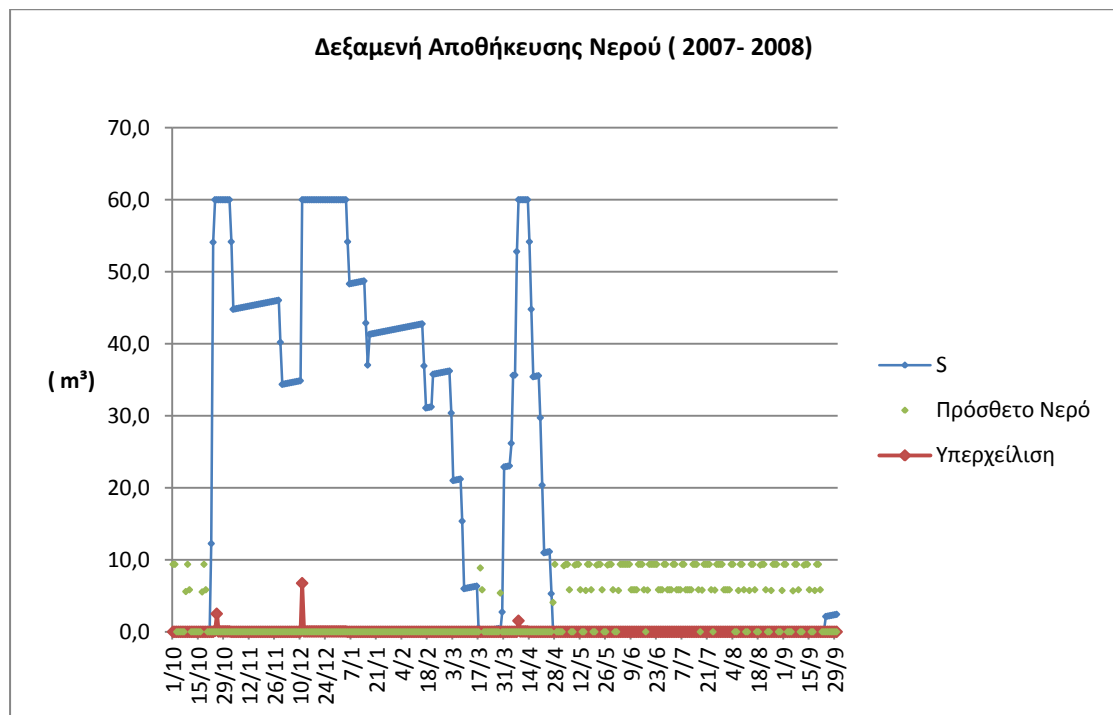
Γράφημα 6.35 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2006 έως 9/2007



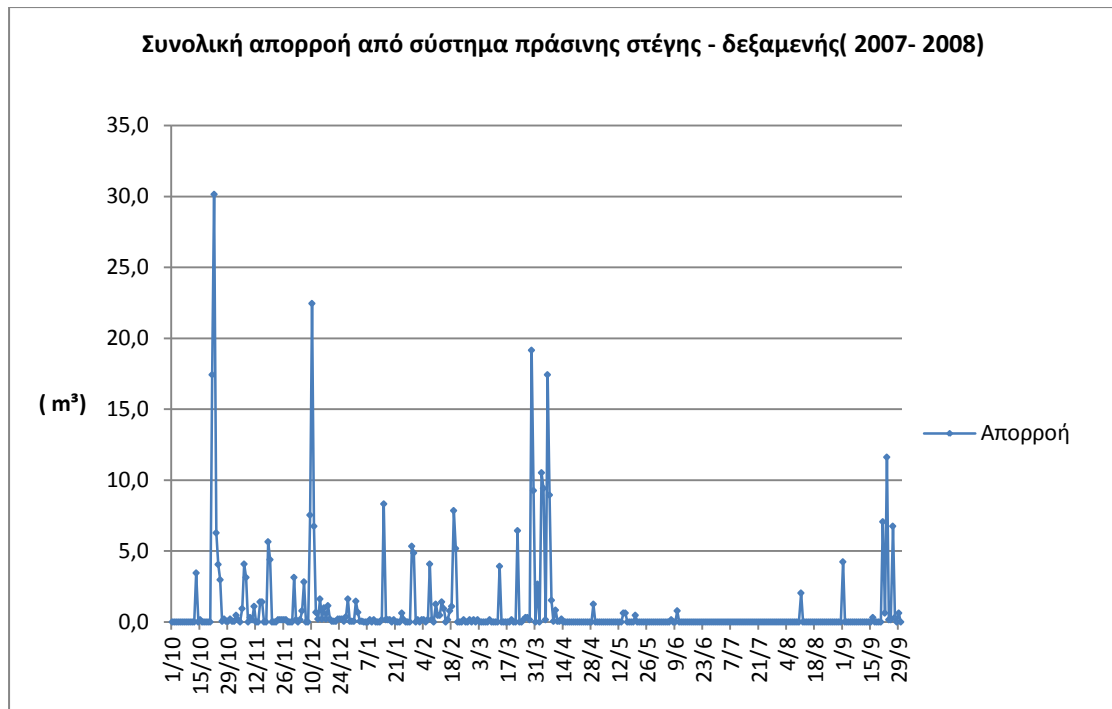
Γράφημα 6.36 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2006 έως 9/2007



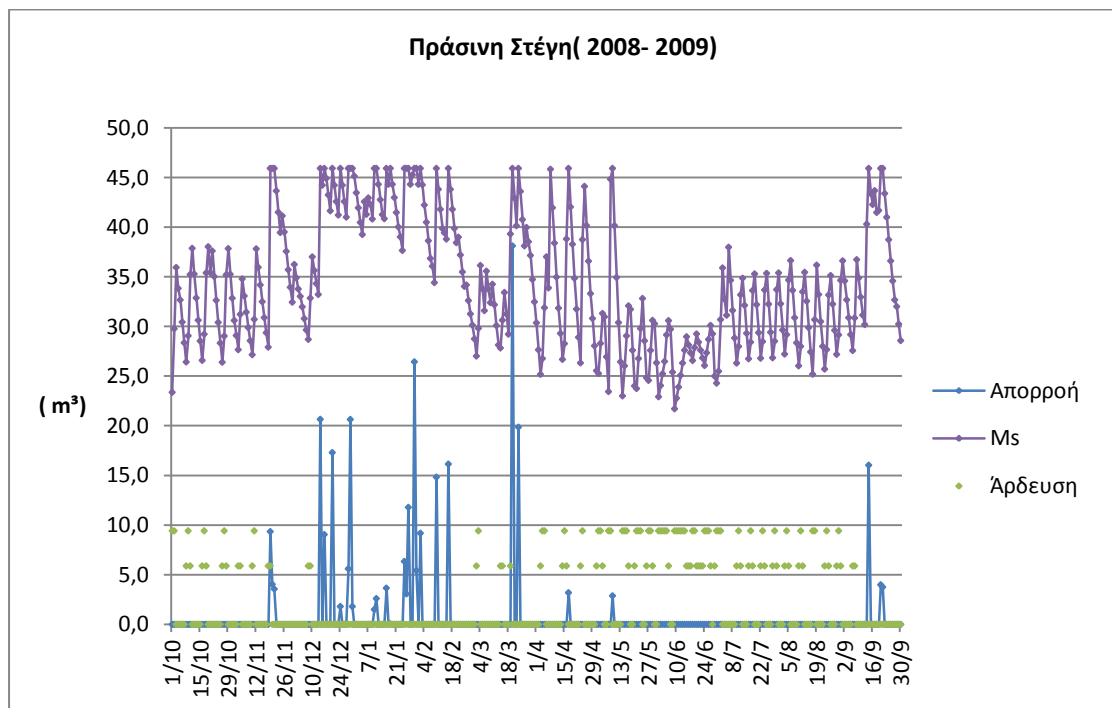
Γράφημα 6.37 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2007 έως 9/2008



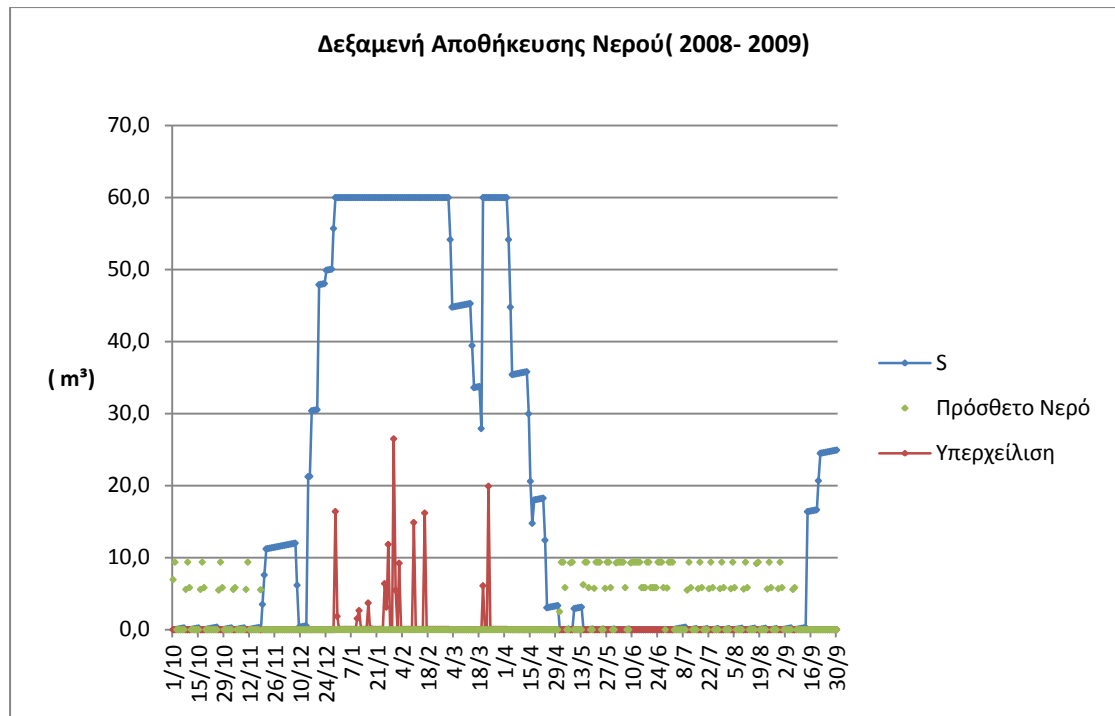
Γράφημα 6.38 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2007 έως 9/2008



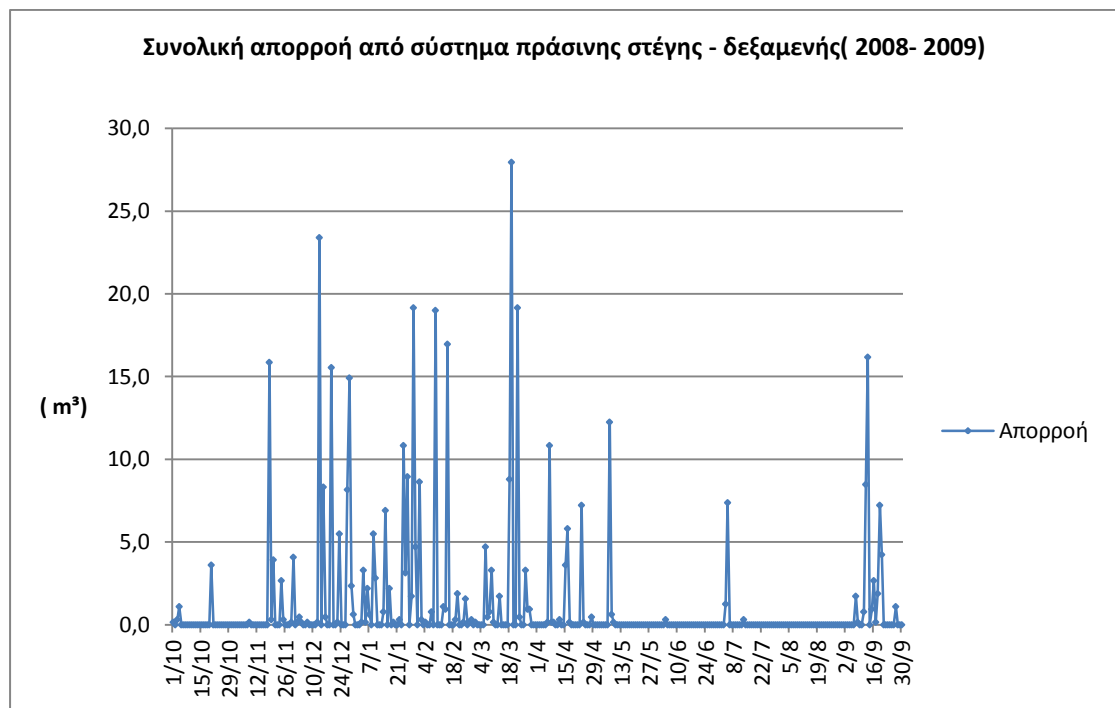
Γράφημα 6.39 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2007 έως 9/2008



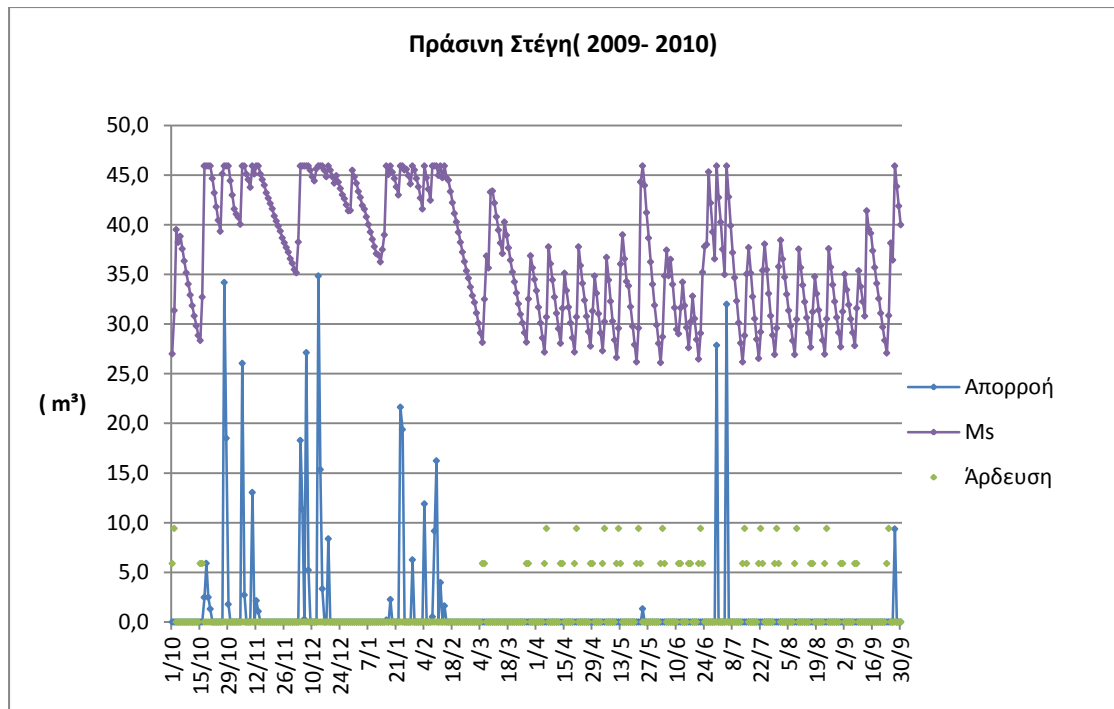
Γράφημα 6.40 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2008 έως 9/2009



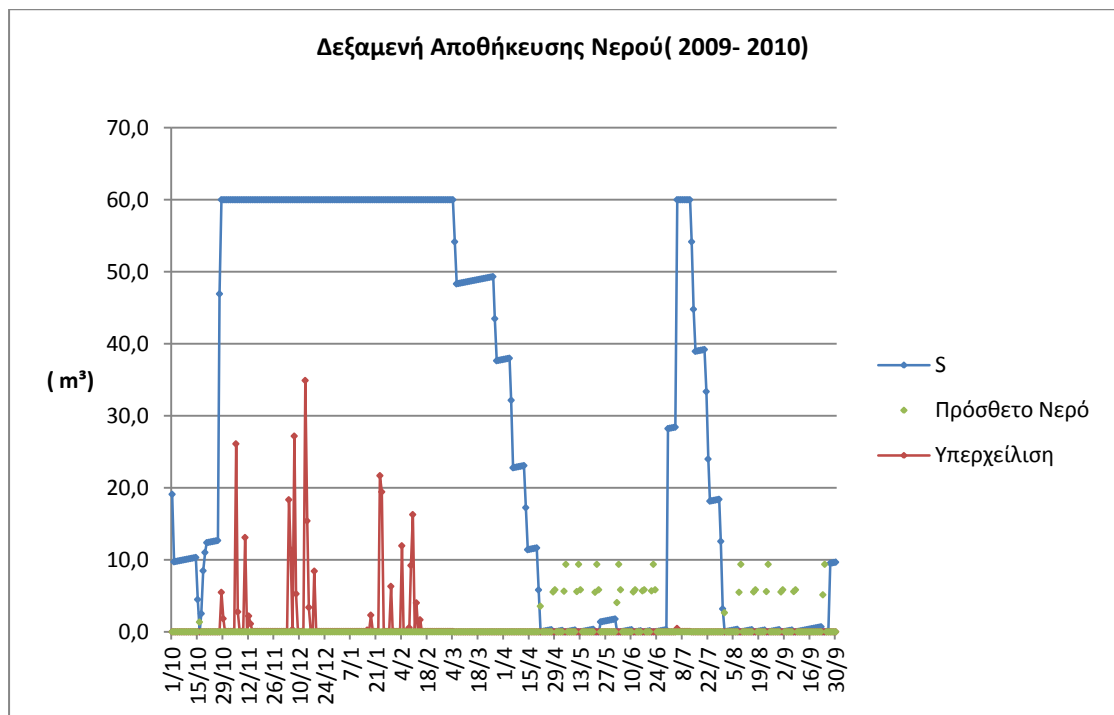
Γράφημα 6.41 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2008 έως 9/2009



Γράφημα 6.42 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2008 έως 9/2009



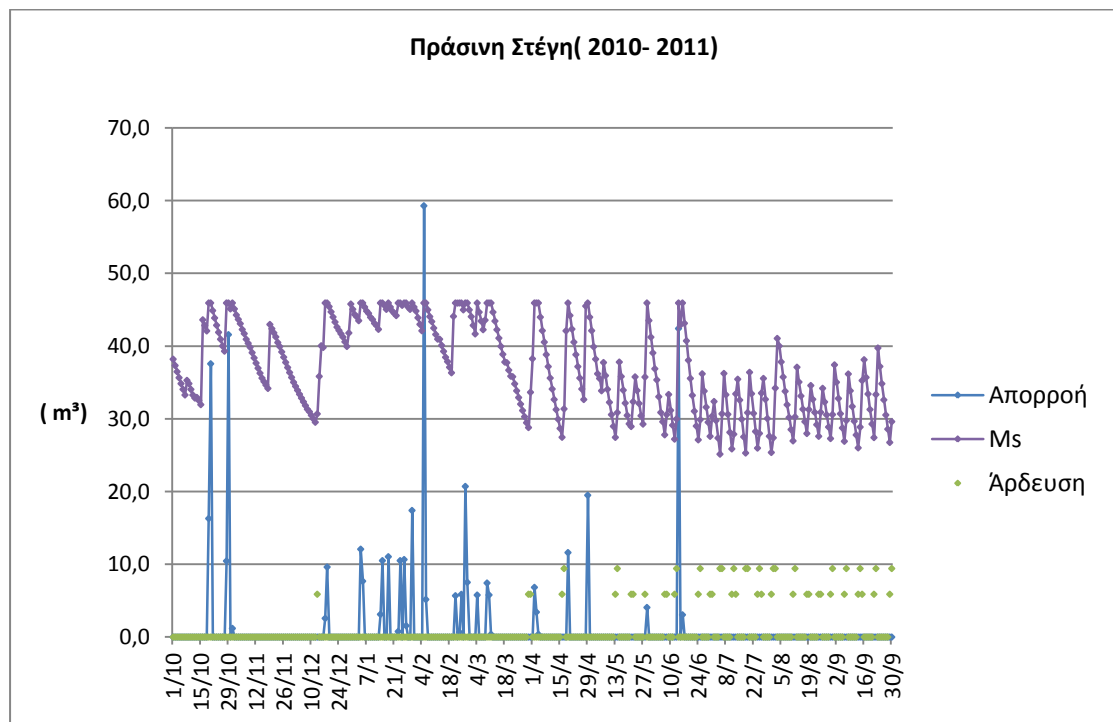
Γράφημα 6.43 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2009 έως 9/2010



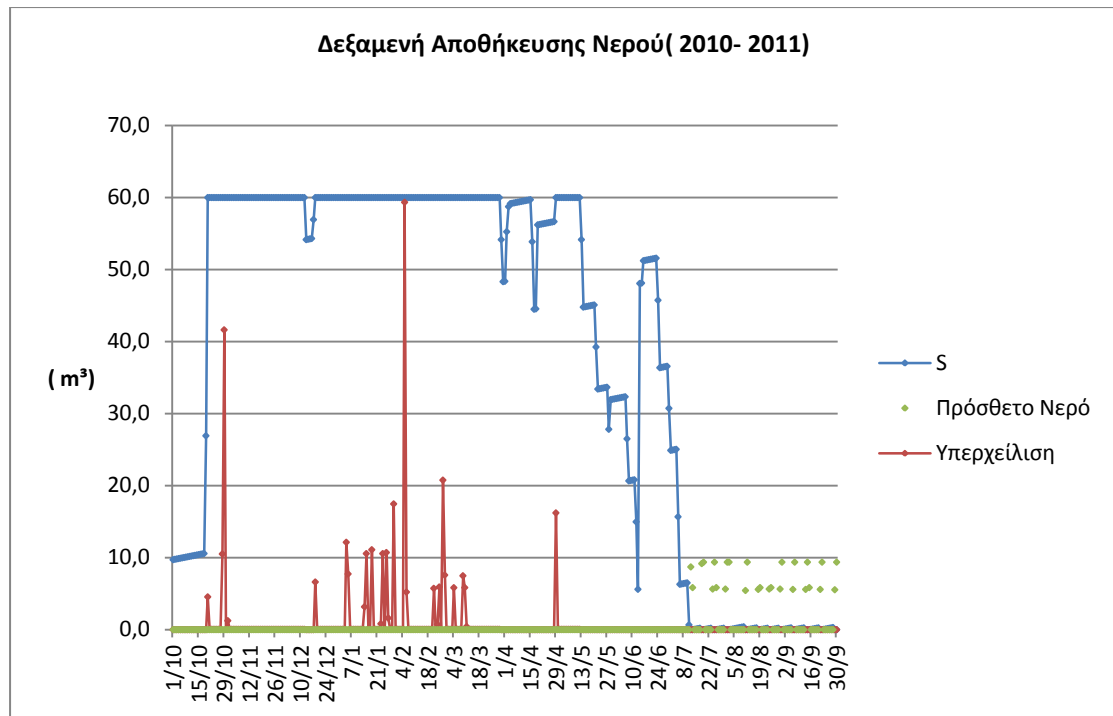
Γράφημα 6.44 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσιας της δεξαμενής την περίοδο 10/2009 έως 9/2010



Γράφημα 6.45 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2009 έως 9/2010



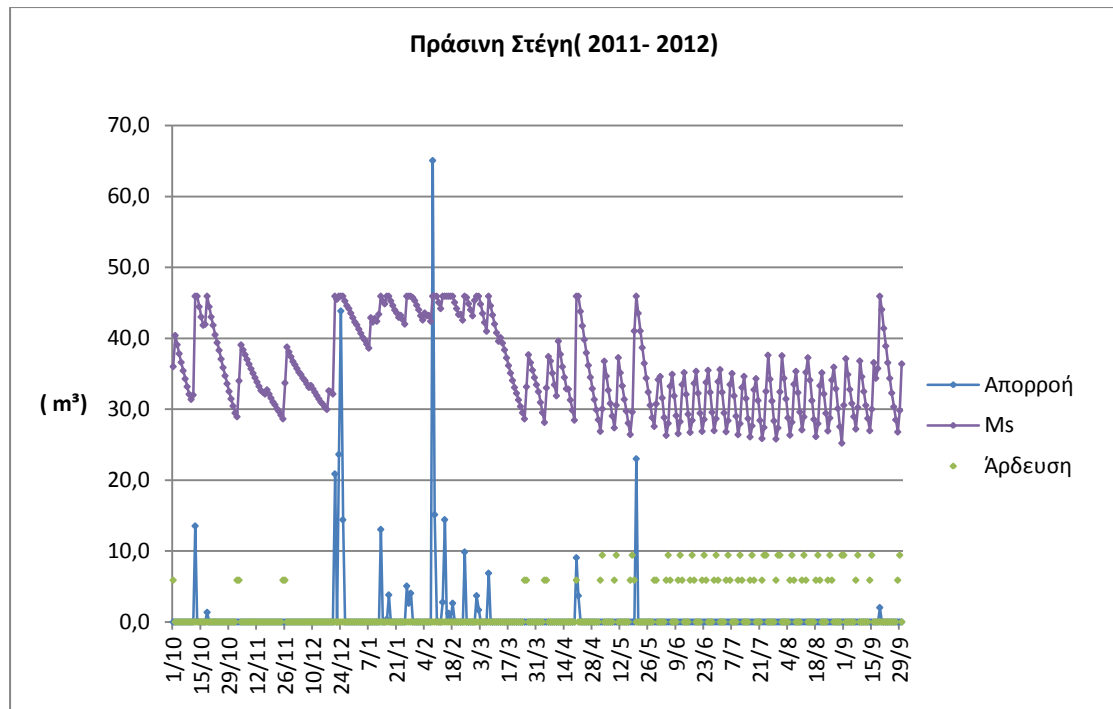
Γράφημα 6.46 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2010 έως 9/2011



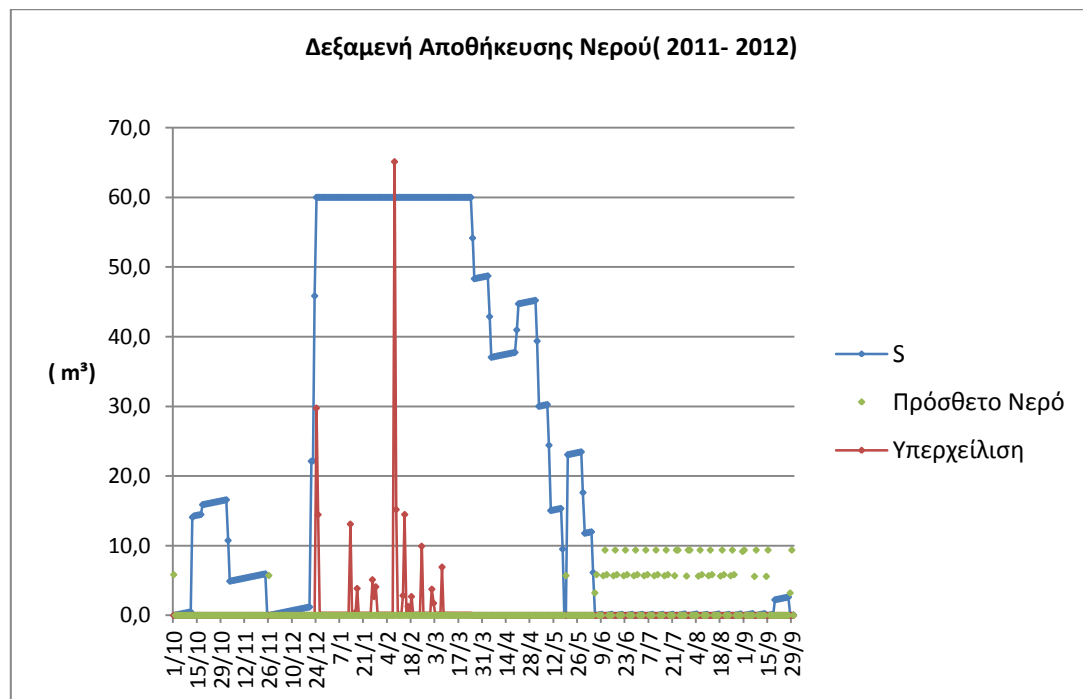
Γράφημα 6.47 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2010 έως 9/2011



Γράφημα 6.48 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2010 έως 9/2011



Γράφημα 6.49 Διακύμανση της απορροής από την πράσινη στέγη, της εδαφικής υγρασίας και της ποσότητας άρδευσης την περίοδο 10/2011 έως 9/2012



Γράφημα 6.50 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2011 έως 9/2012



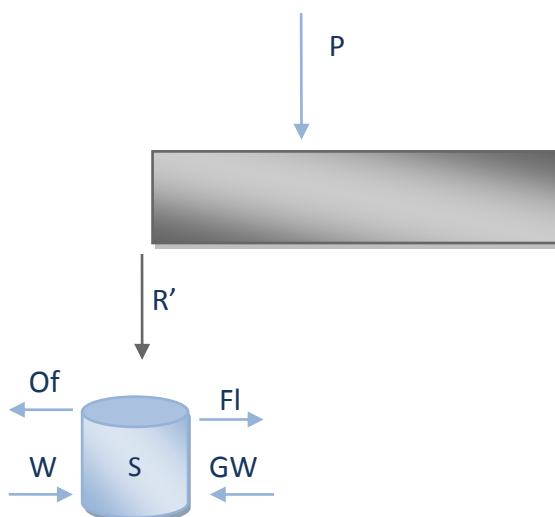
Γράφημα 6.51 Διακύμανση της συνολικής απορροής την περίοδο 10/2011 έως 9/2012

6.3.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΜΑΥΡΗ ΣΤΕΓΗ (ΧΩΡΙΣ ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΤΕΓΗ)

6.3.4.1 Γενικά στοιχεία

Στην τaráτσα της Εθνικής Πινακοθήκης μελετάται η κατασκευή μόνο της τεχνολογίας της συλλογής βρόχινου νερού από μαύρη στέγη, χωρίς την προσθήκη πράσινης στέγης. Τα δεδομένα είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική μελέτη του συνδυασμού τους.

Για την μαθηματική περιγραφή του μοντέλου της συλλογής βρόχινου νερού από μαύρη στέγη χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση ισοζυγίου μάζας, η οποία παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 6.5:



Εικόνα 6.5 Αναπαράσταση Μοντέλου Συλλογής Βρόχινου Νερού

Καταστρώθηκε η ακόλουθη εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου για τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού:

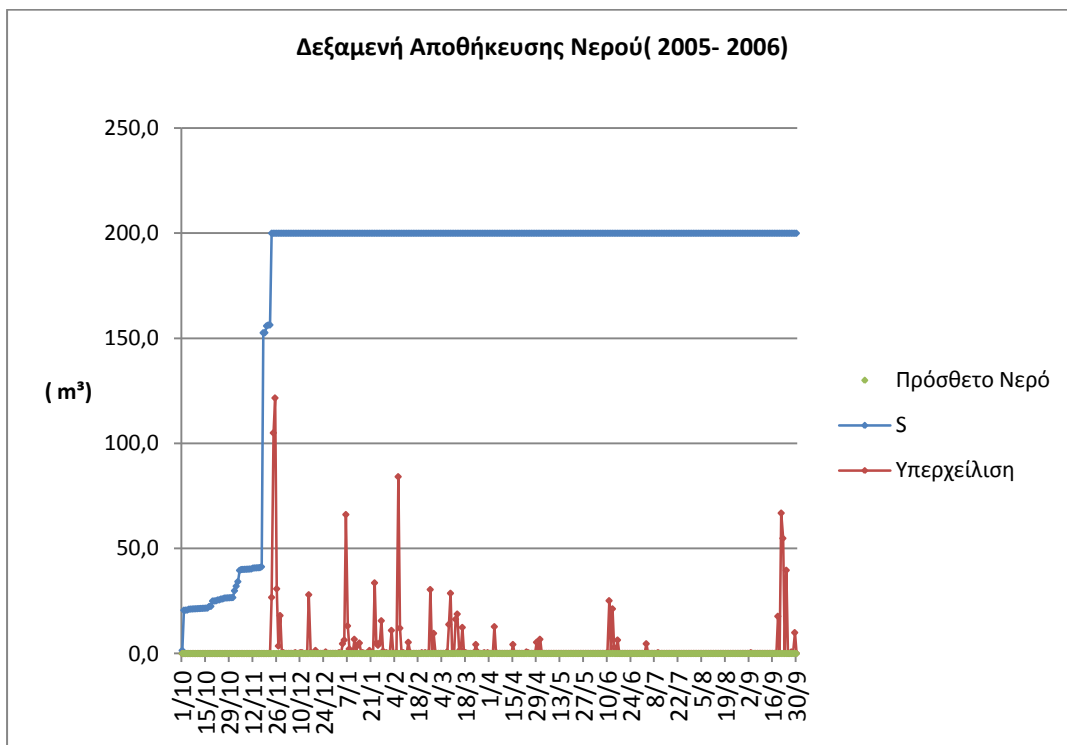
Ισοζύγιο Δεξαμενής Αποθήκευσης Νερού

$$GW + W - Fl - Of + R' = S$$

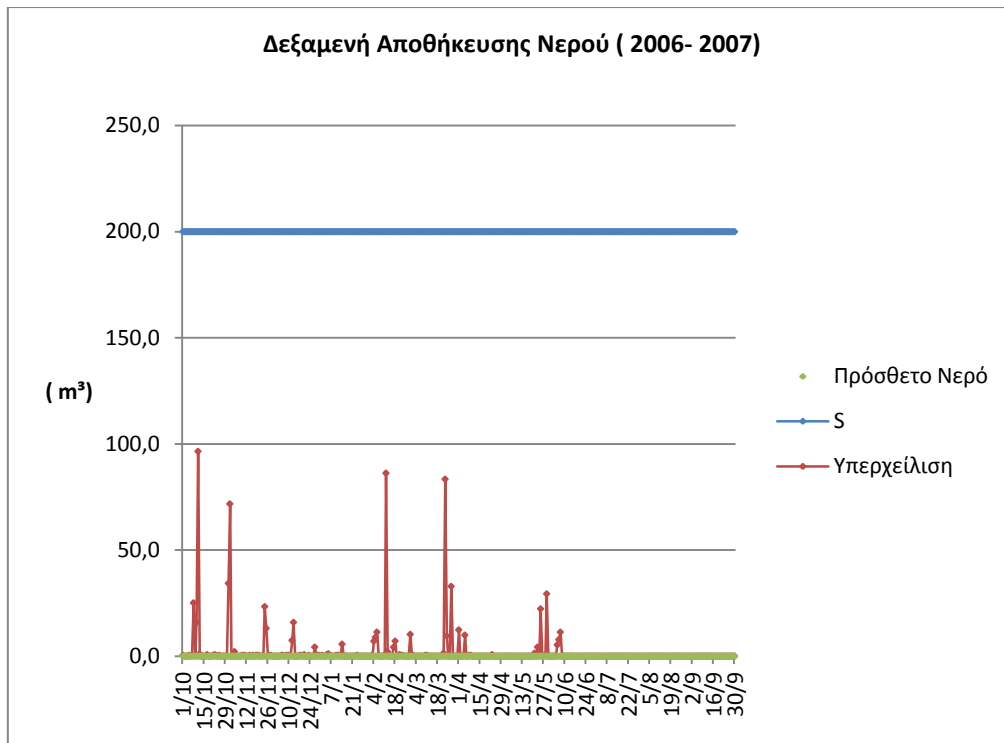
6.3.4.2 Αποτελέσματα - Γραφήματα

Στα παρακάτω γραφήματα (γράφημα 6.52 - 6.58) παρουσιάζεται η διακύμανση της αποθηκευμένης για επαναχρησιμοποίηση ποσότητας νερού, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής αποθήκευσης. Το χρονικό βήμα είναι ημερήσιο και ο όγκος νερού δίνεται σε κυβικά μέτρα. Κάθε διάγραμμα αναφέρεται σε ένα υδρολογικό έτος.

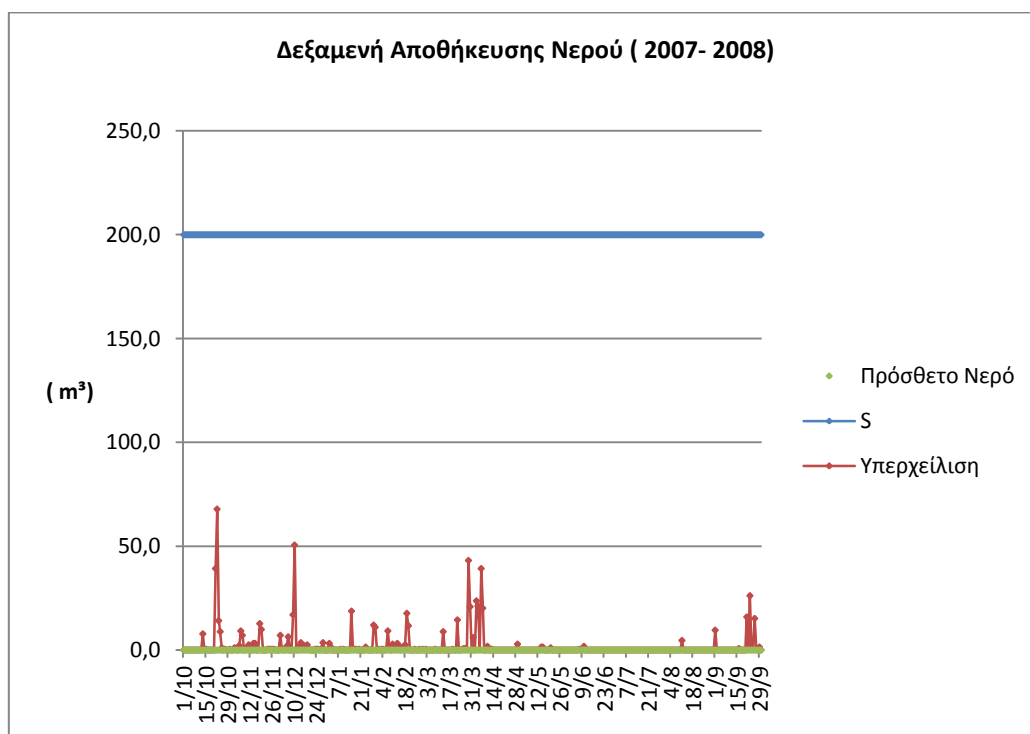
Κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου μελέτης του συστήματος η προσθήκη πόσιμου νερού δεν κρίνεται απαραίτητη. Το γεγονός αυτό είναι λογικό καθώς τη ζήτηση ανακυκλωμένου νερού την καλύπτει η ποσότητα του επεξεργασμένου γκρι νερού. Όσον αφορά στις υπερχειλίσεις της δεξαμενής, παρατηρείται ότι ο αριθμός αυτών είναι μεγάλος καθ' όλο το υδρολογικό έτος, με αιχμές που παρουσιάζονται κυρίως το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο (121 m^3 στις 25.11.2005, 87 m^3 στις 12.2.2007, 96 m^3 στις 4.2.2011, 105 m^3 στις 7.2.2012). Σημειώνεται ότι τον Ιούλιο και τον Αύγουστο η απορροή του συστήματος είναι μηδενική λόγω της ξηρασίας που επικράτησε αυτούς τους μήνες.



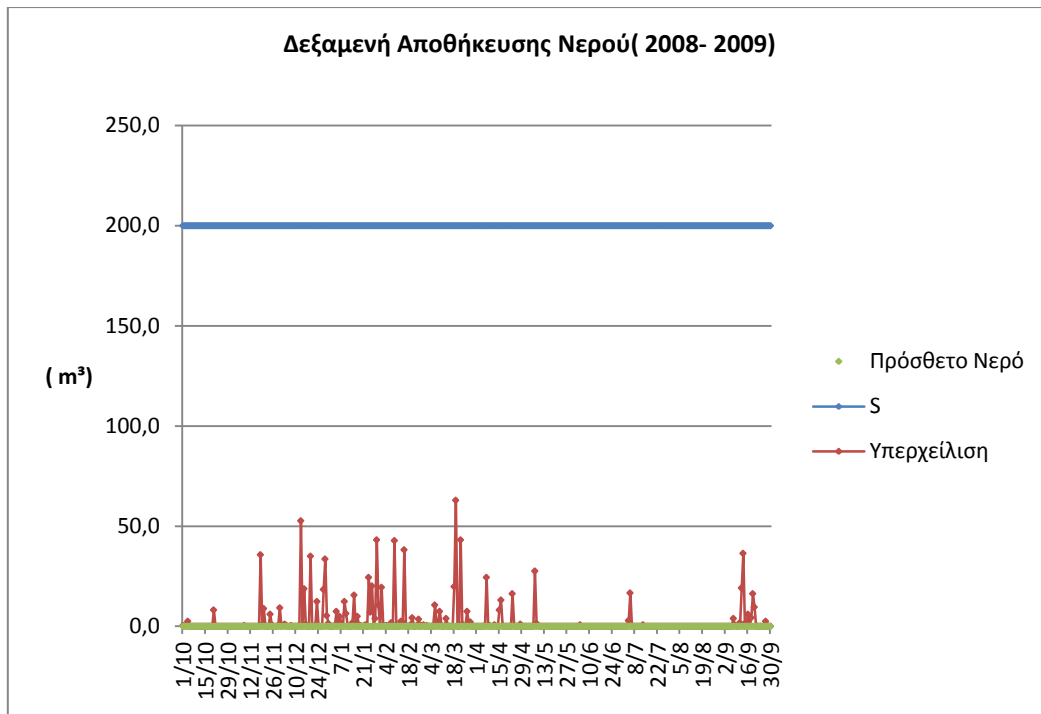
Γράφημα 6.52 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2005 έως 9/2006



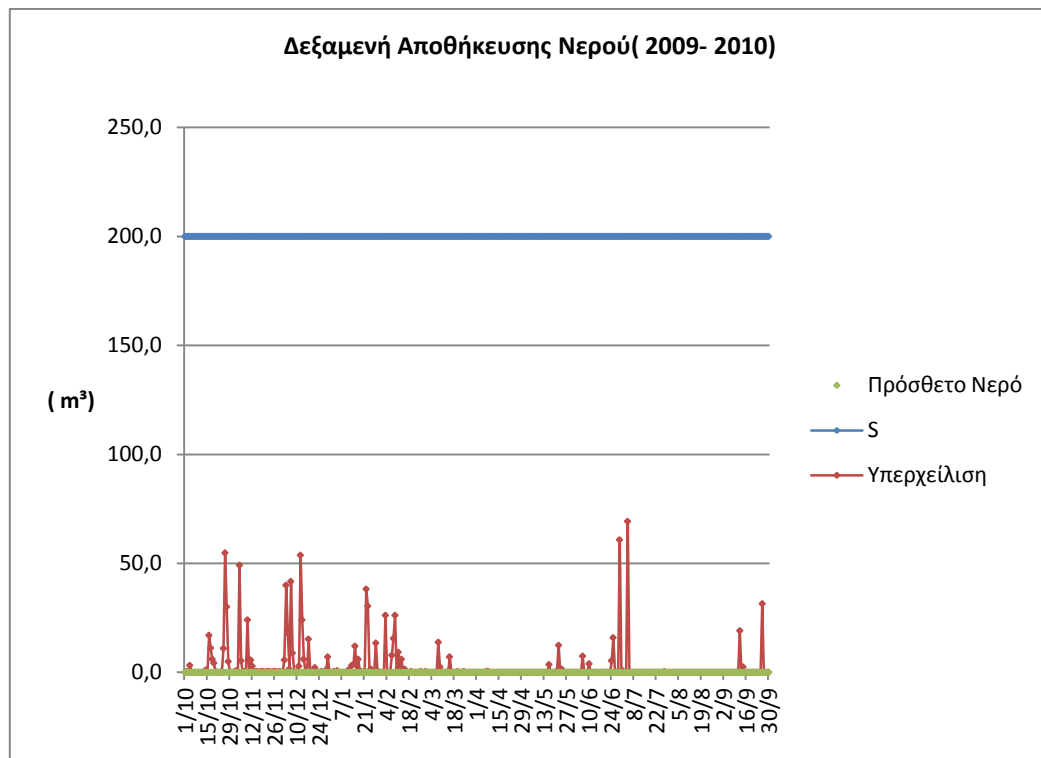
Γράφημα 6.53 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2006 έως 9/2007



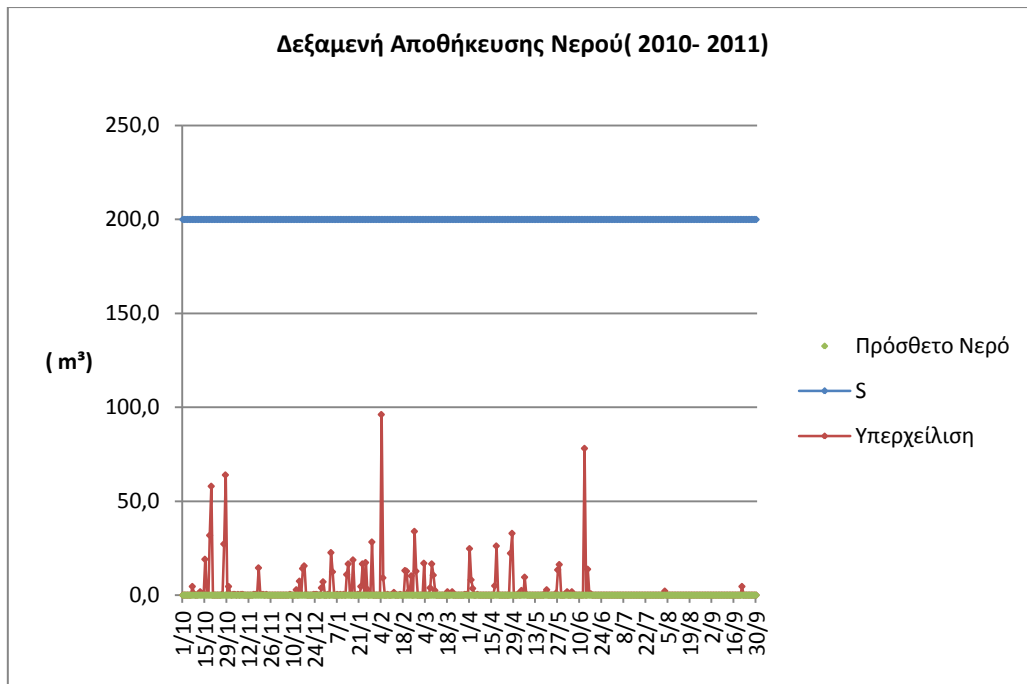
Γράφημα 6.54 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2007 έως 9/2008



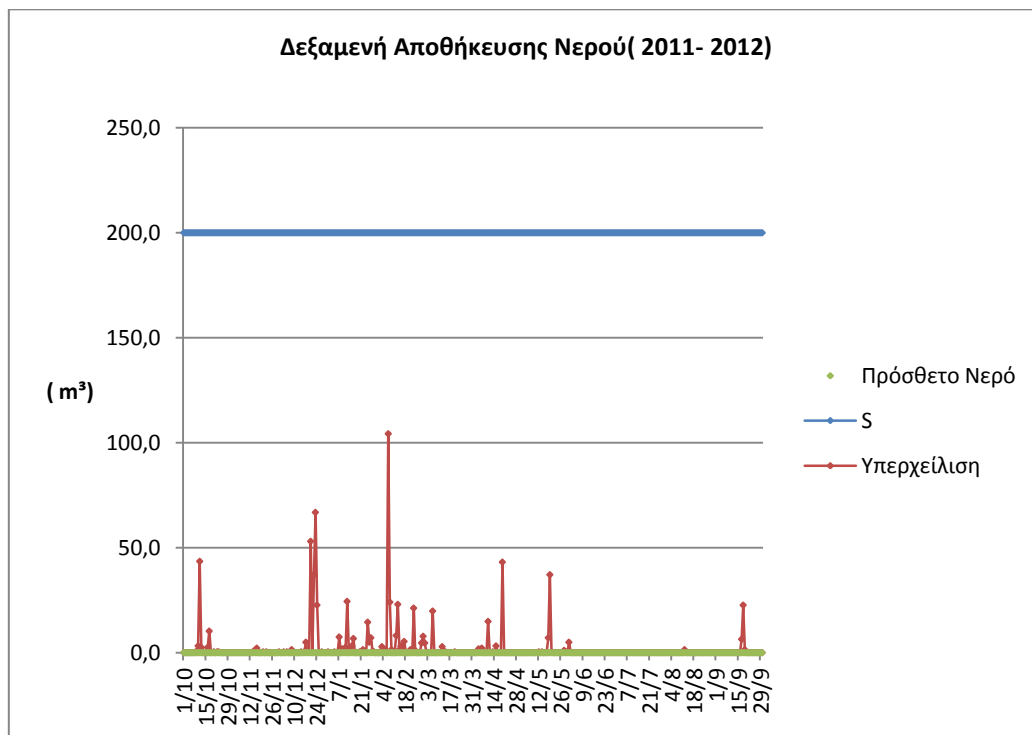
Γράφημα 6.55 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2008 έως 9/2009



Γράφημα 6.56 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2009 έως 9/2010



Γράφημα 6.57 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2010 έως 9/2011

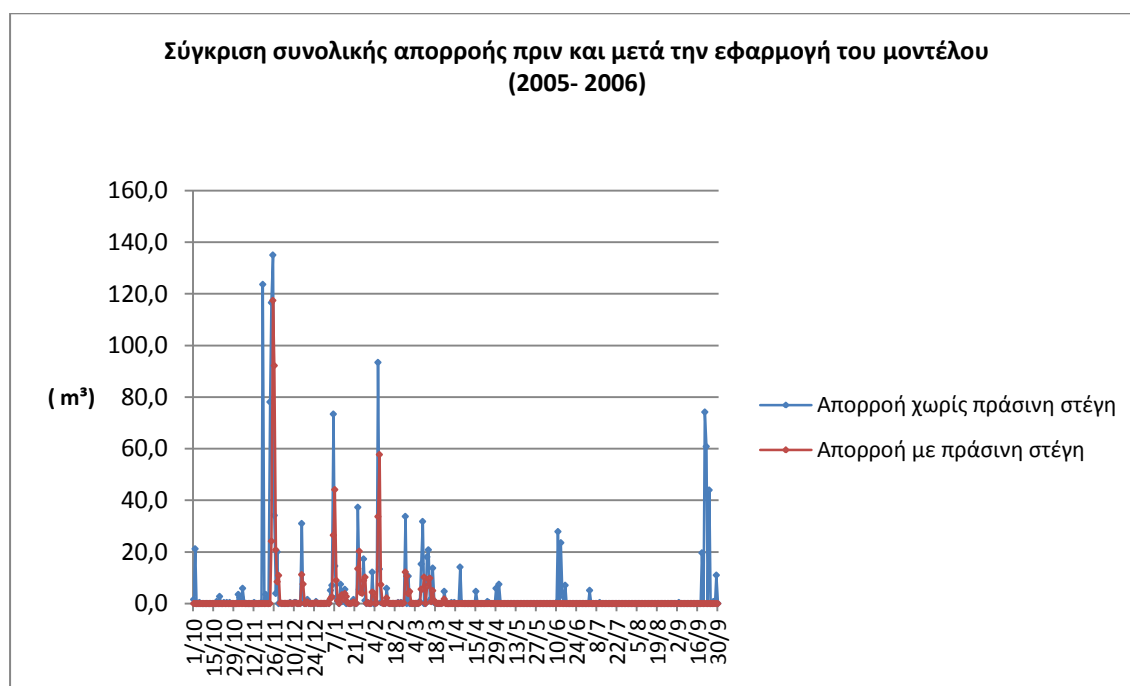


Γράφημα 6.58 Διακύμανση της αποθηκευμένης ποσότητας S, του πρόσθετου νερού και της υπερχειλίσης της δεξαμενής την περίοδο 10/2011 έως 9/2012

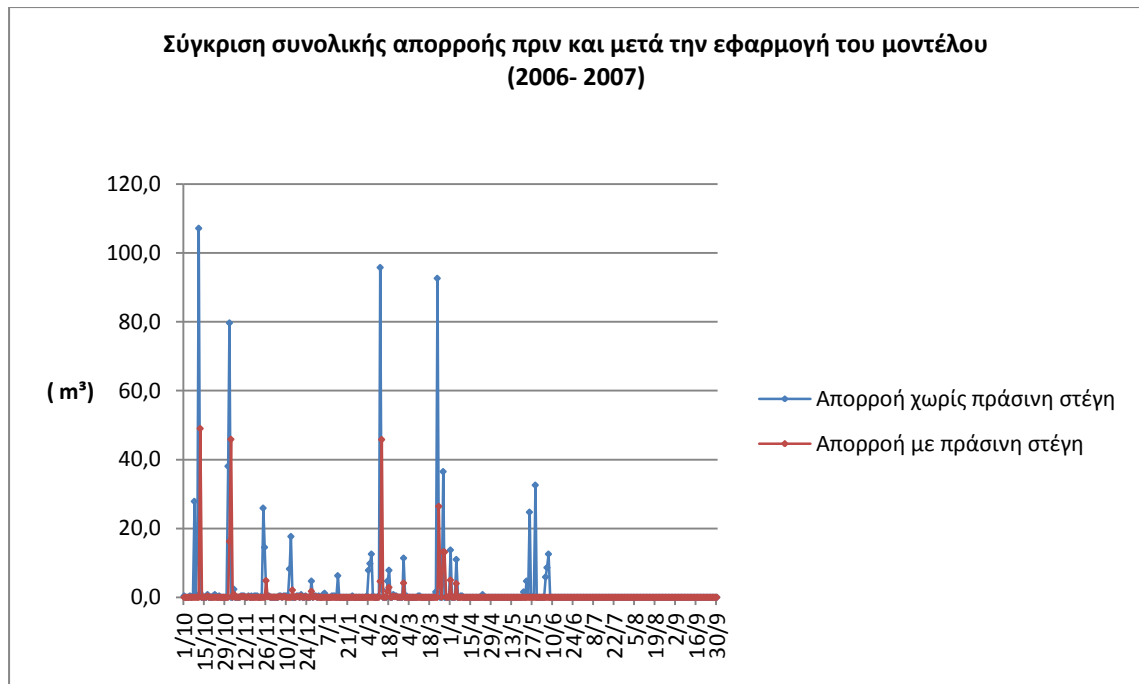
6.3.5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

6.3.5.1 Γραφήματα απορροής πριν και μετά την εφαρμογή του μοντέλου πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού

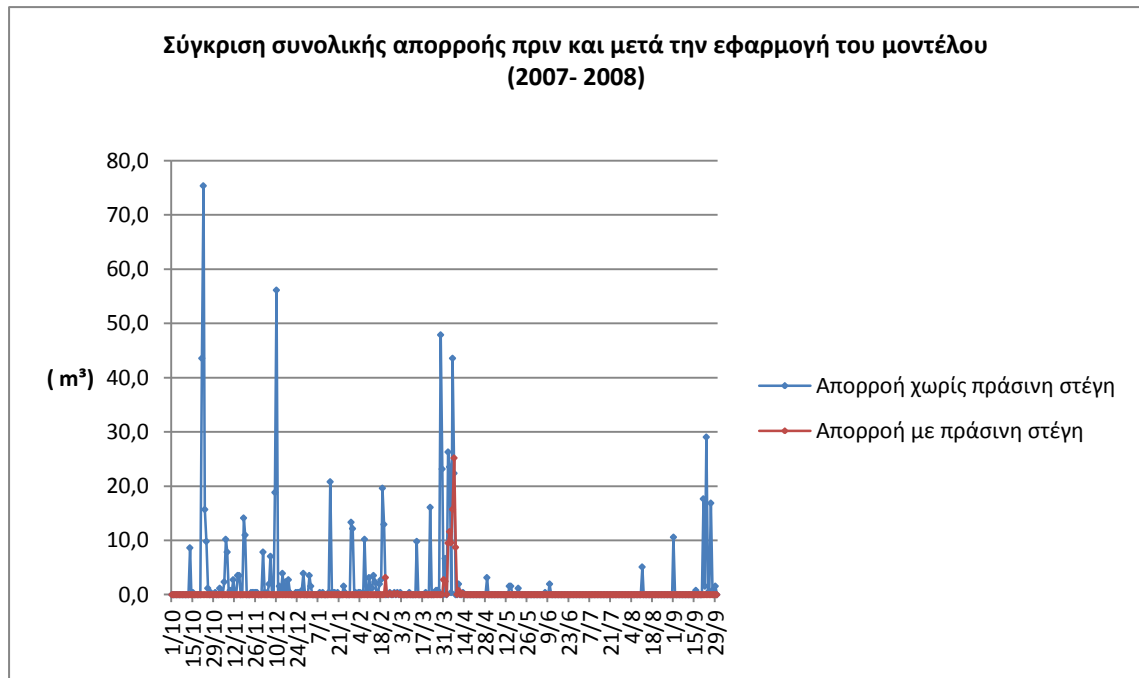
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η συνολική ημερήσια απορροή για το μοντέλο πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού και για μια συμβατική στέγη (Γράφημα 6.59 – 6.65). Σε συνήθεις συνθήκες, παρατηρείται αισθητή μείωση της συνολικής απορροής με τη χρήση του συστήματος πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού. Όμως, σε περιπτώσεις καταιγίδας, οι τιμές της επιφανειακής απορροής ελαττώνονται, αλλά σε μικρό βαθμό. Το γεγονός αυτό είναι λογικό καθώς οι πράσινες στέγες τείνουν να συμπεριφερθούν ανάλογα των συμβατικών όταν το υπόστρωμα ανάπτυξης φτάσει σε επίπεδο κορεσμού.



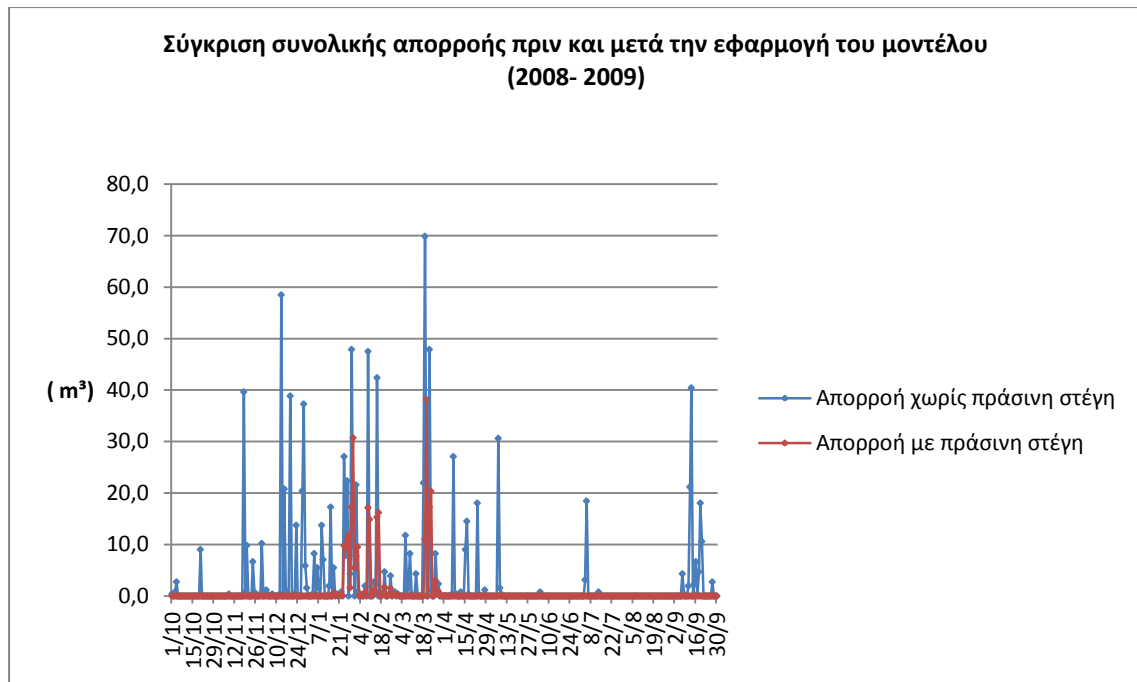
Γράφημα 6.59 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2005 έως 9/2006



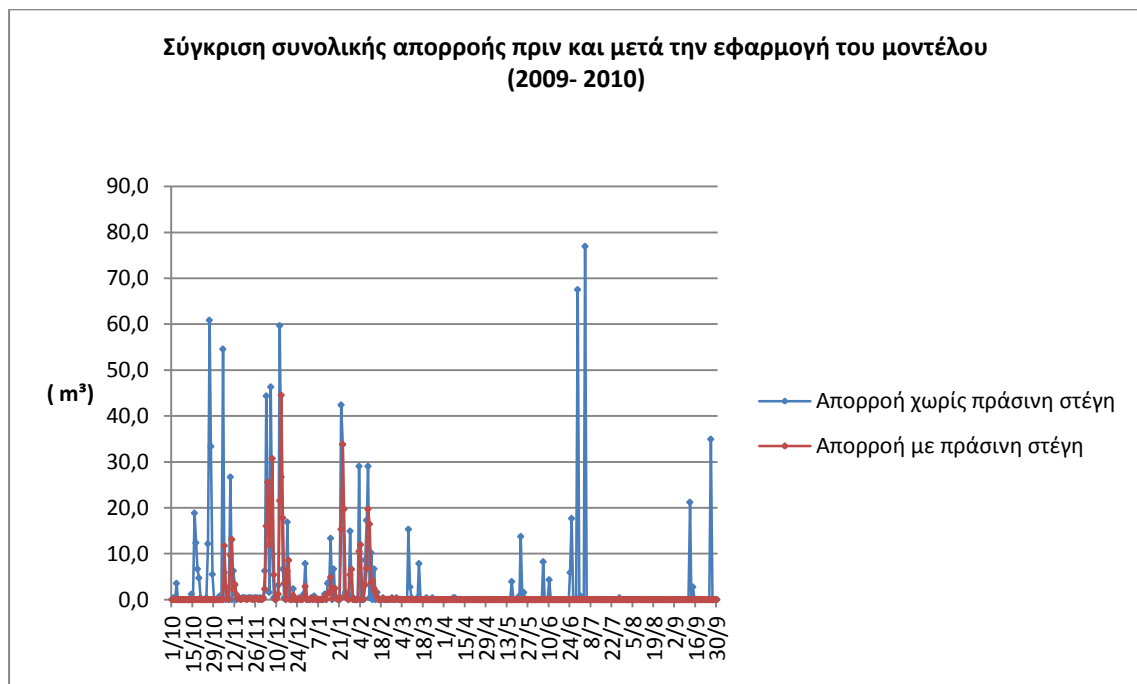
Γράφημα 6.60 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2006 έως 9/2007



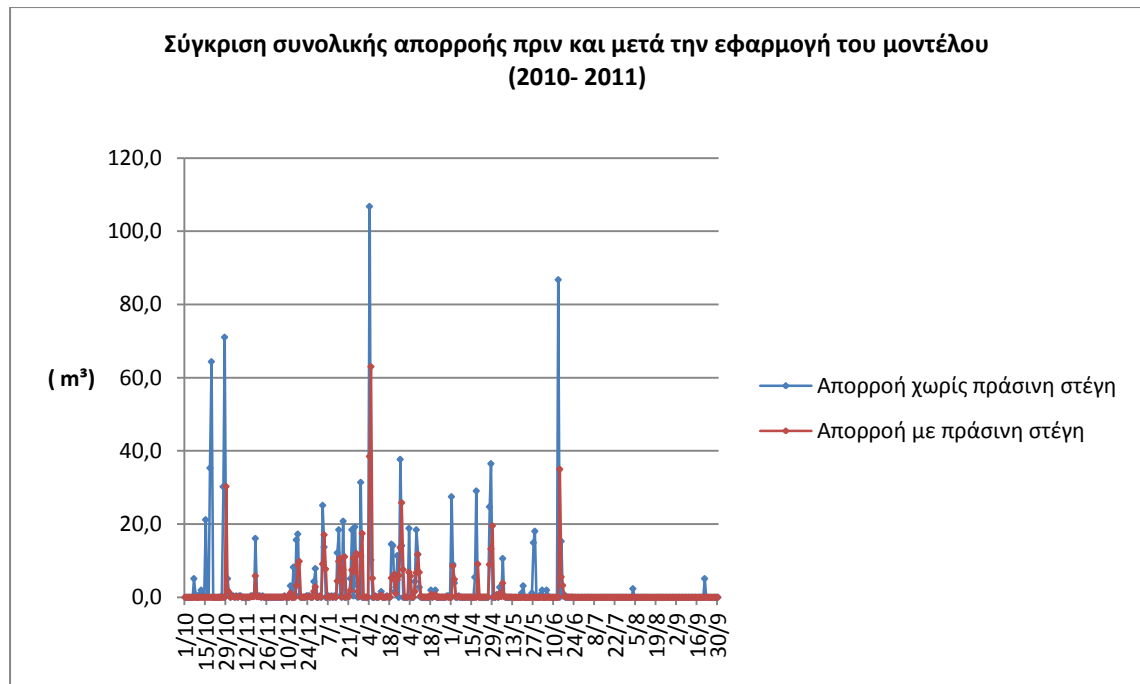
Γράφημα 6.61 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2007 έως 9/2008



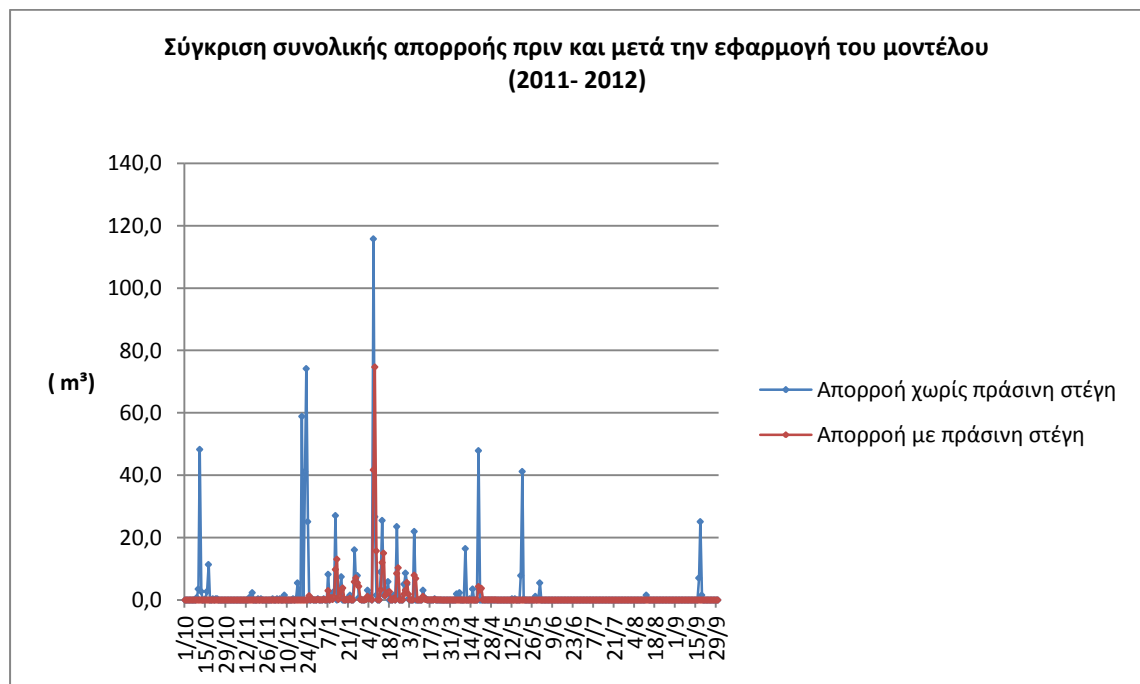
Γράφημα 6.62 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2008 έως 9/2009



Γράφημα 6.63 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2009 έως 9/2010



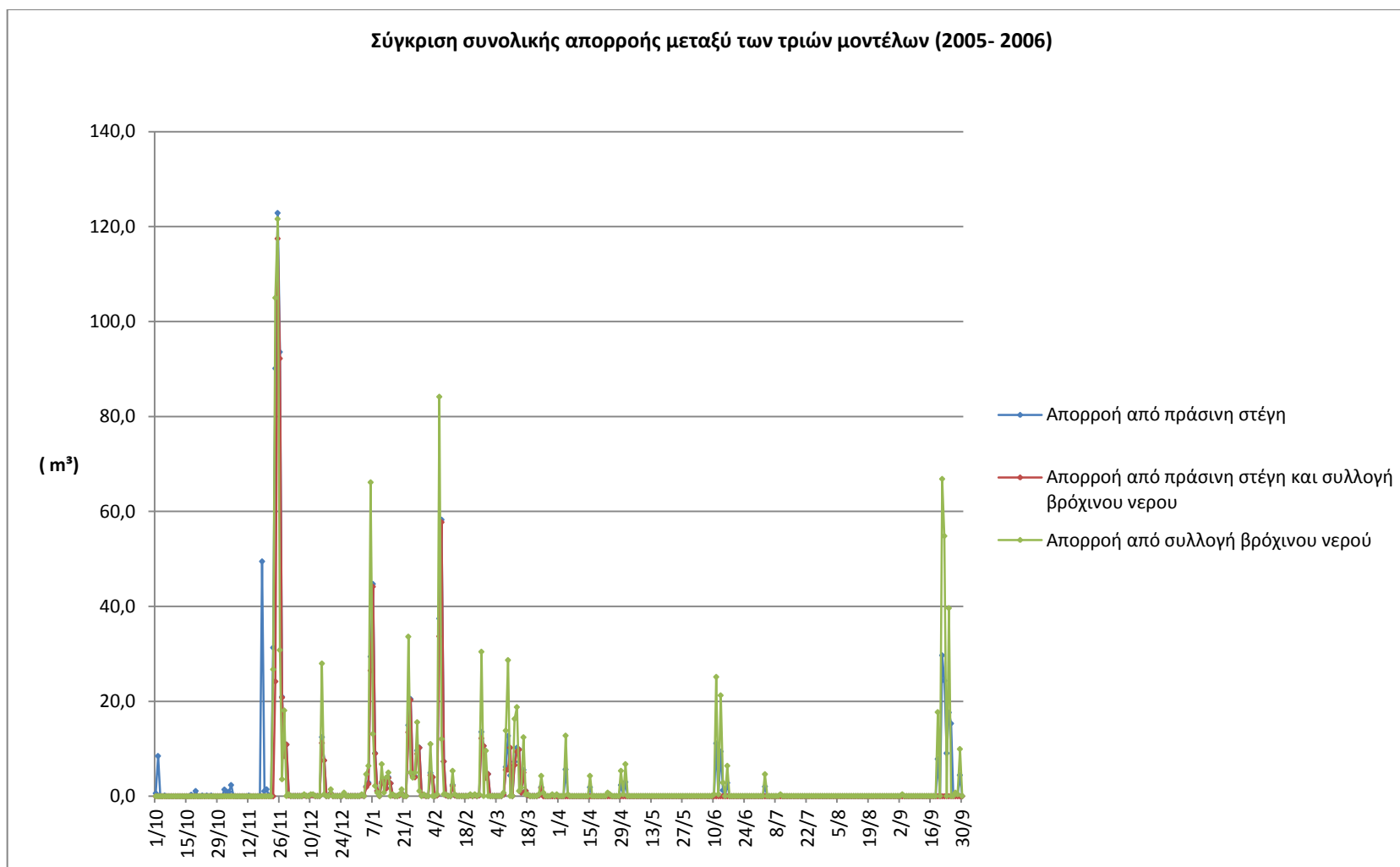
Γράφημα 6.64 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2010 έως 9/2011



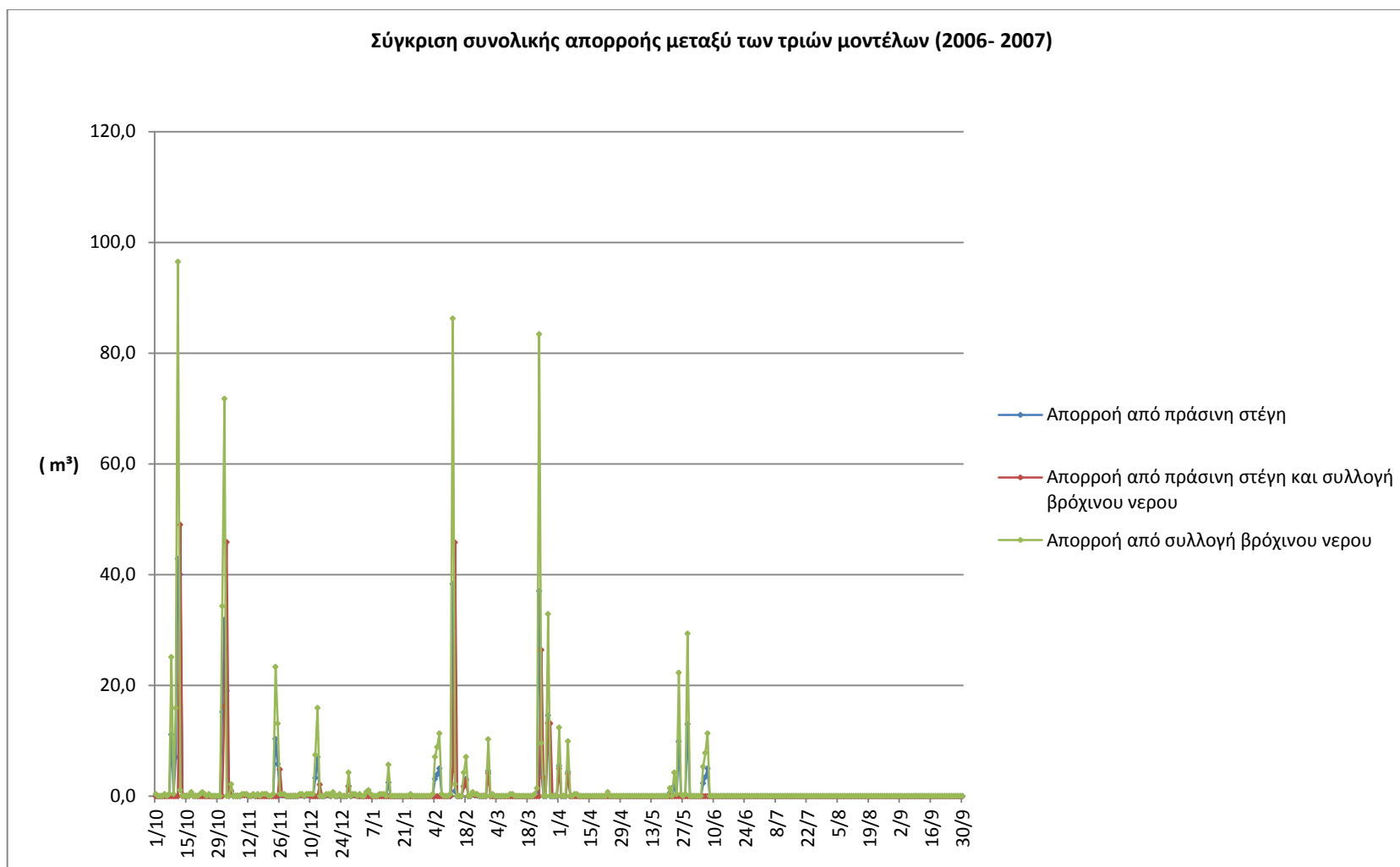
Γράφημα 6.65 Διακύμανση της συνολικής απορροής από τη μαύρη στέγη και από το σύστημα πράσινης στέγης- συλλογής βρόχινου νερού την περίοδο 10/2011 έως 9/2012

6.3.5.2 Γραφήματα συνολικής απορροής των τριών μοντέλων

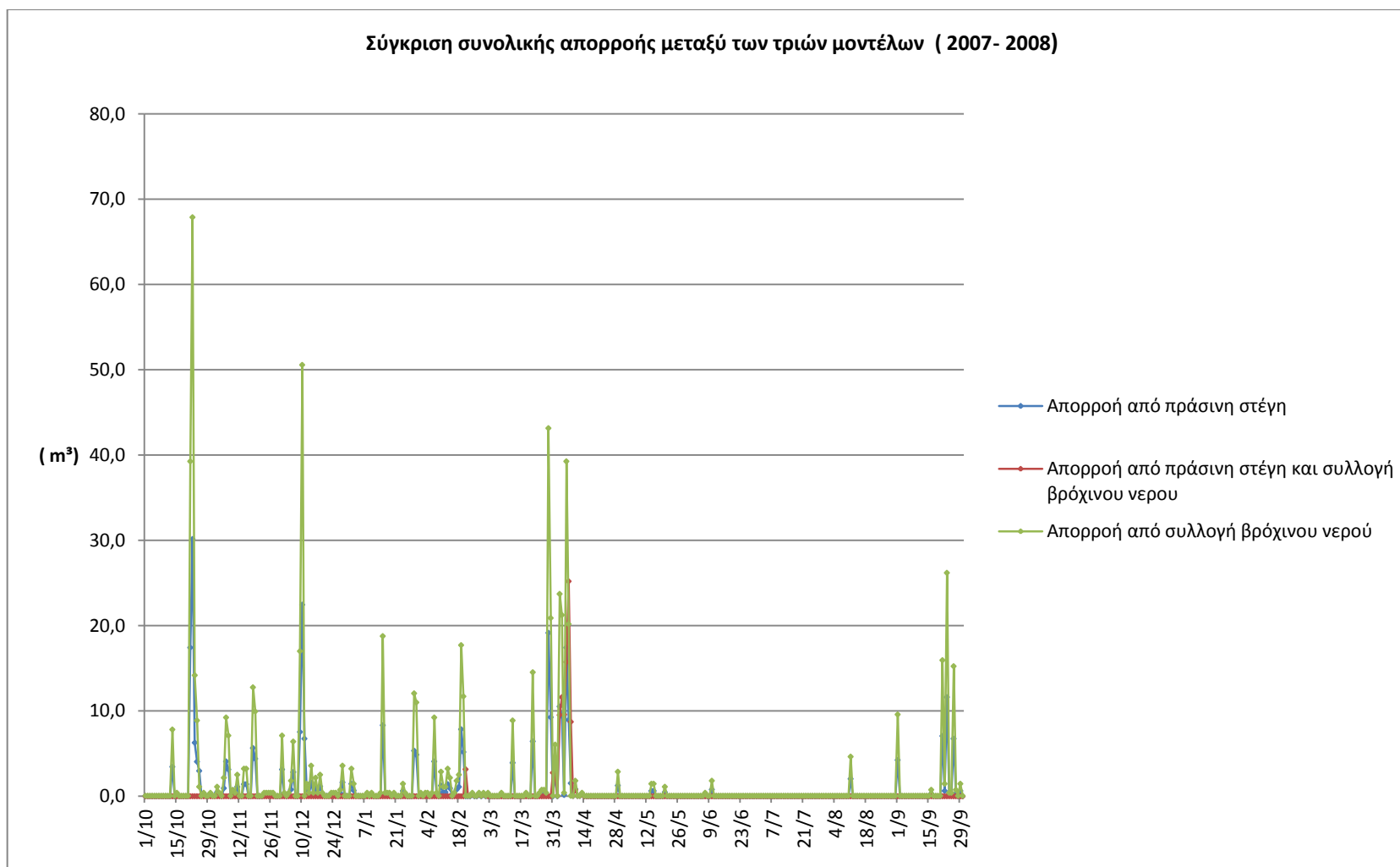
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η συνολική ημερήσια απορροή που προκύπτει για καθένα από τα τρία μοντέλα που παρουσιάστηκαν ανωτέρω (Γράφημα 6.66 – 6.72). Σε ημερήσιο βήμα η συνολική απορροή είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνολογία συλλογής βρόχινου νερού από τη μαύρη στέγη. Συμπεράσματα από τη σύγκριση μεταξύ των άλλων δύο συστημάτων δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν. Ωστόσο, παρατηρείται ότι πολλές ημέρες, κατά την εφαρμογή των μοντέλων που περιλαμβάνουν μια από τις δύο τεχνολογίες λαμβάνει χώρα επιφανειακή απορροή, γεγονός που είναι αντίθετο στην περίπτωση του συνδυασμού τους.



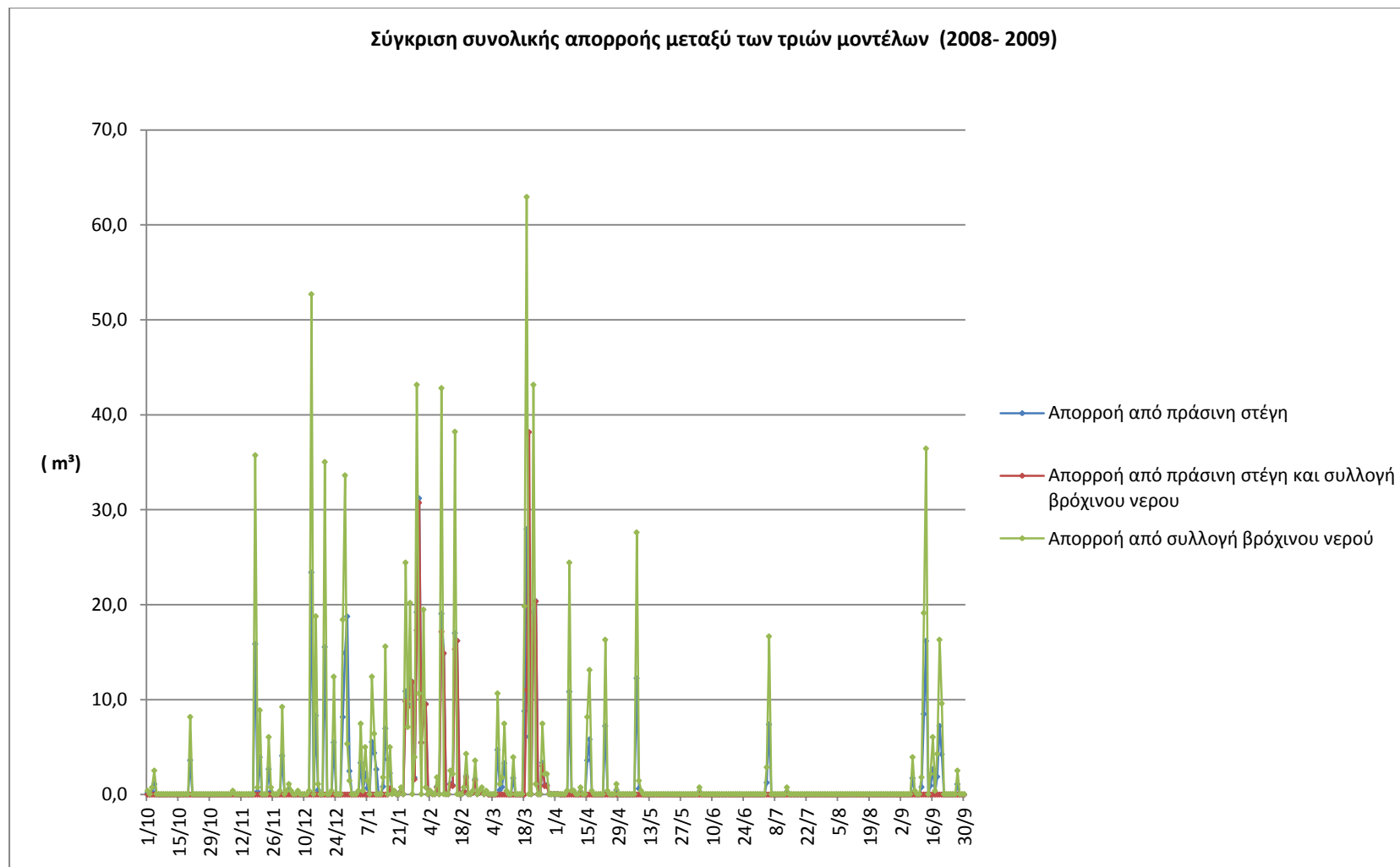
Γράφημα 6.66 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2005 έως 9/2006



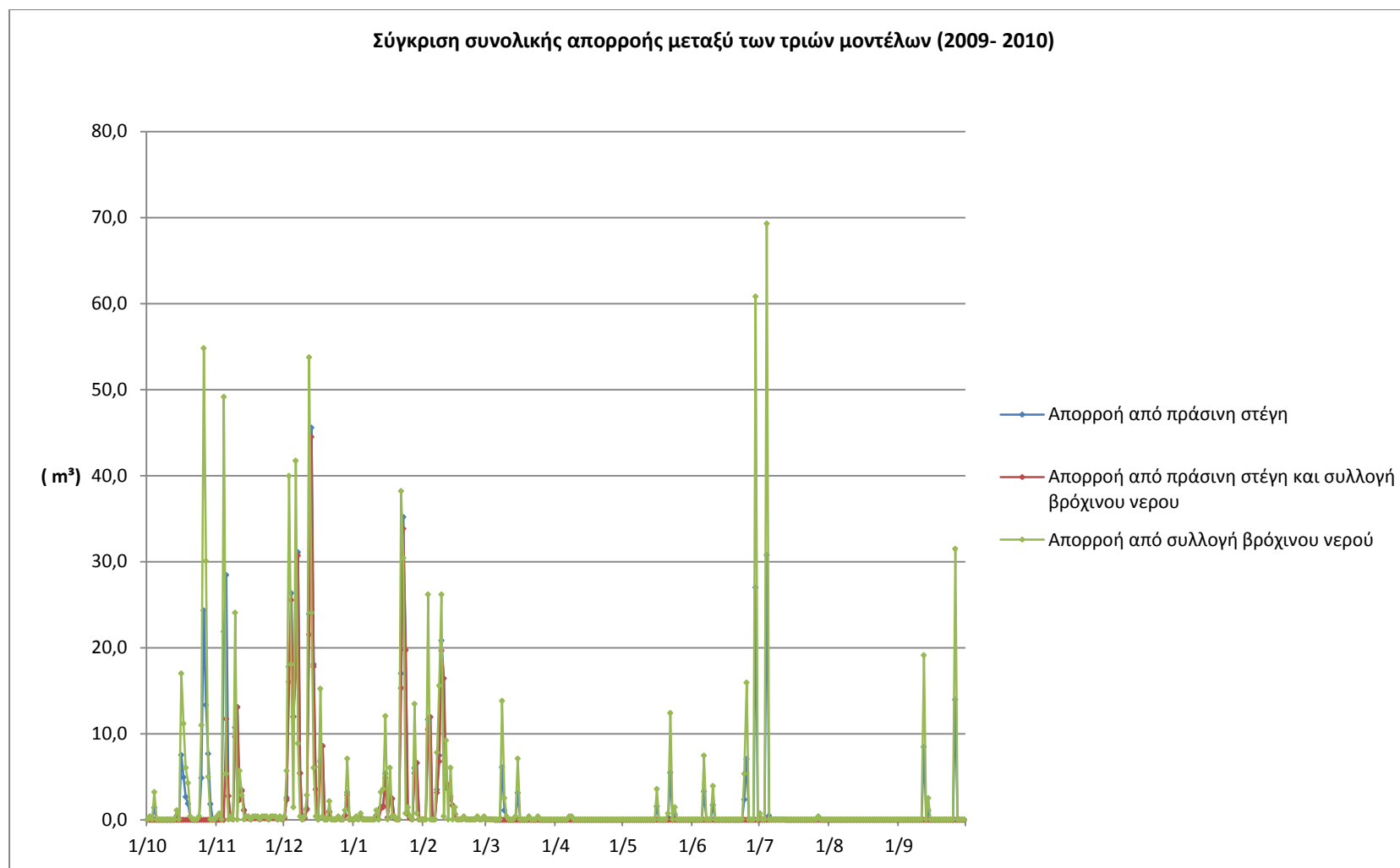
Γράφημα 6.67 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2006 έως 9/2007



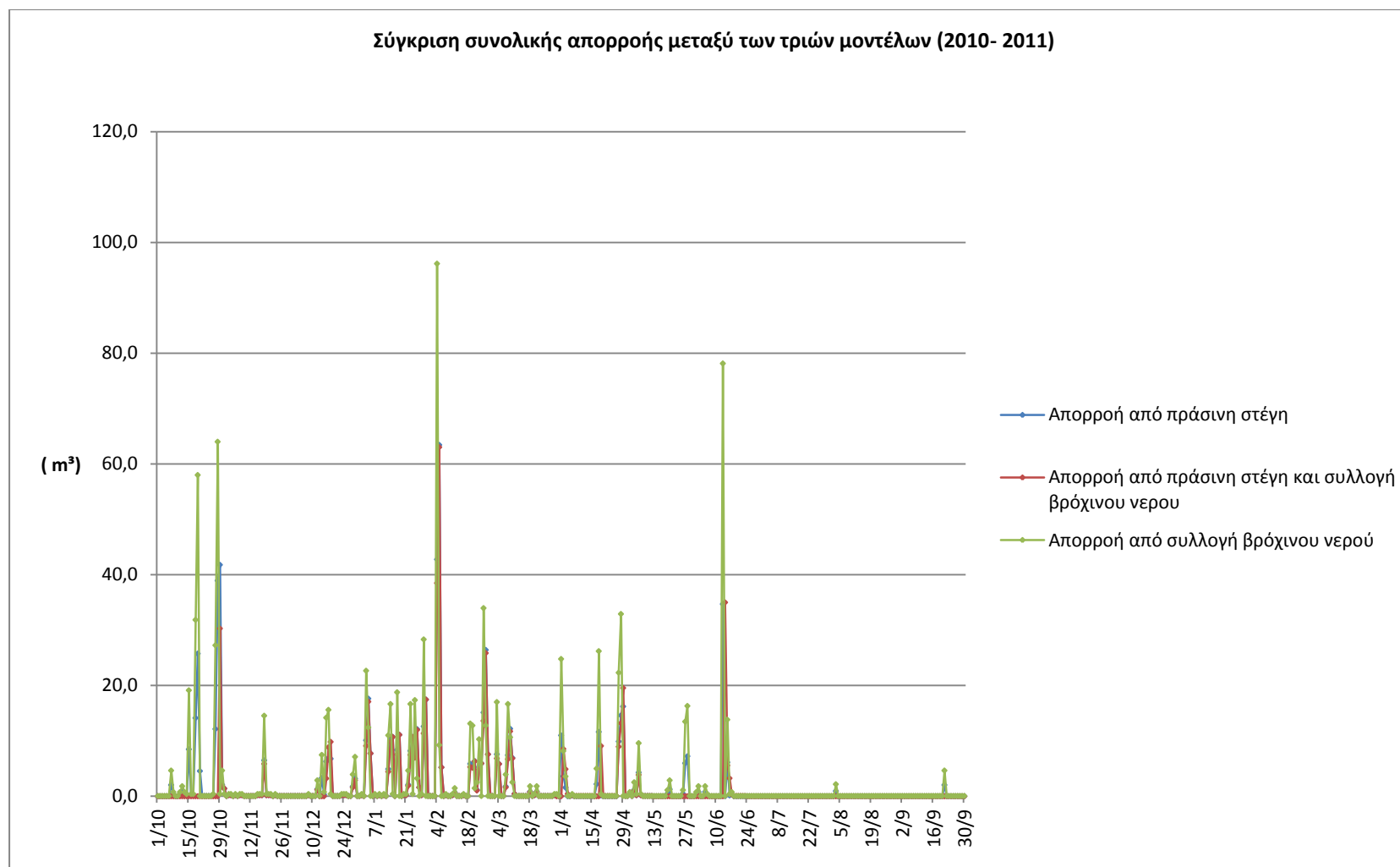
Γράφημα 6.68 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2007 έως 9/2008



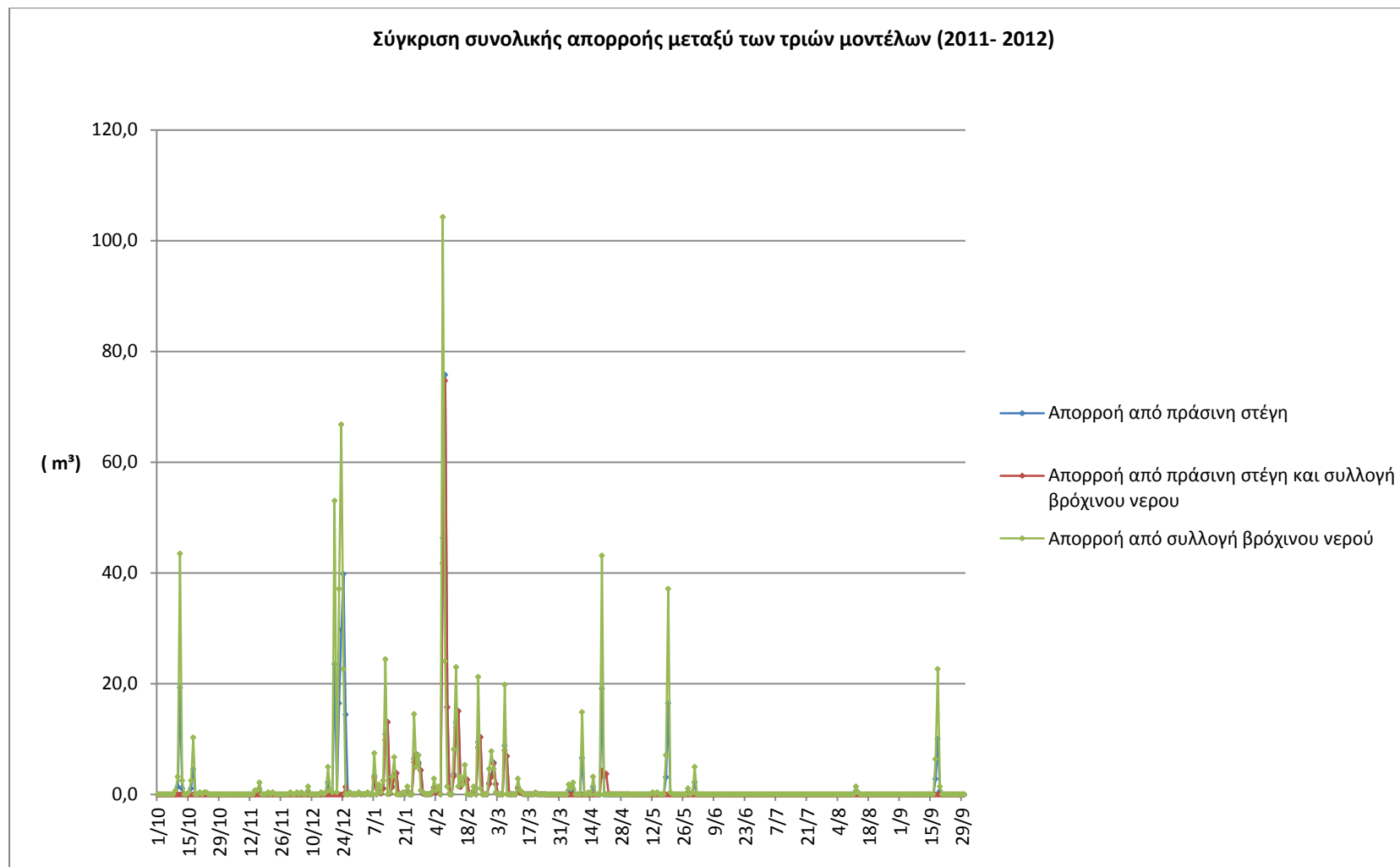
Γράφημα 6.69 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2008 έως 9/2009



Γράφημα 6.70 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2009 έως 9/2010



Γράφημα 6.71 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2010 έως 9/2011



Γράφημα 6.72 Διακύμανση της συνολικής απορροής για τα τρία μοντέλα κατά την περίοδο 10/2011 έως 9/2012

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να χωρισθούν στις εξής δύο κατηγορίες:

- Συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά τη διάρκεια της θεωρητικής ανάλυσης των διαφόρων πρακτικών και τεχνολογιών, οι οποίες ήταν απαραίτητες για την κατανόηση και δημιουργία του μοντέλου.
- Συμπεράσματα από την εφαρμογή του μοντέλου στη στέγη της Εθνικής Πινακοθήκης.

7.1.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Από το 1990 εμφανίστηκε μια νέα αντιμετώπιση της διαχείρισης των ομβρίων, γνωστή είτε ως «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων», είτε ως «υδροκεντρικός αστικός σχεδιασμός», είτε ως «ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων», η οποία θέτει ως στόχο την αποκατάσταση του διαταραγμένου περιβαλλοντικά αστικού περιβάλλοντος και του υδρολογικού καθεστώτος, καθώς και την αειφόρο ανάπτυξη. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές, που απομακρύνουν και διαχειρίζονται την απορροή σε μεγάλες εγκαταστάσεις κατάντη των αστικών λεκανών, οι πρακτικές της παραπάνω τάσης λαμβάνουν χώρα σε μικρή απόσταση από την πηγή του προβλήματος και αποτελούνται από περιοχές ελέγχου μικρής κλίμακας. Αναπτύσσονται δηλαδή, πιο απλές και χωρίς αυξημένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις λύσεις, οι οποίες ενισχύουν την ποιότητα και την ποσότητα των υδάτων, αλλά και την αισθητική και τη βιοποικιλότητα. Συνεπώς, πραγματοποιείται καλύτερη διαχείριση και ελαχιστοποίηση της επιφανειακής απορροής (αιχμή και όγκος), ενώ παράλληλα αποφεύγονται τα φαινόμενα που προκαλούνται από τις πλημμύρες, όπως είναι η διάβρωση και η μεταφορά ιζημάτων, αλλά και οι δαπανηρές πρακτικές μετριασμού αυτής, όπως είναι τα αντιπλημμυρικά έργα.

Παράλληλα, με τις πρακτικές διήθησης, προσρόφησης και καθίζησης μειώνονται τα ρυπογόνα φορτία και με τη διεργασία της διείσδυσης τροφοδοτούνται οι υπόγειοι υδροφορείς.

Στα πλαίσια της ανωτέρω διαχείρισης των ομβρίων εφαρμόζονται ευρέως οι πράσινες στέγες. Με τη μετατροπή αδιαπέρατων αχρησιμοποίητων επιφανειών (παραδοσιακές στέγες) σε πιο διαπερατές (πράσινες στέγες) προκύπτουν ποικίλα οφέλη. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, οι πράσινες στέγες δύναται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση των πράσινων χώρων και των αντίστοιχων πλεονεκτημάτων τους (ψυχική υγεία, ενδιαυτήματα για πανίδα). Το στρώμα βλάστησης συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω της φωτοσύνθεσης και της παγίδευσης αερομεταφερόμενων ρυπογόνων στοιχείων. Παράλληλα, με την αποθήκευση του νερού είτε στο υπόστρωμα ανάπτυξης, είτε στη βλάστηση πραγματοποιείται μείωση της απορροής, αλλά και αύξηση της ηχομόνωσης και της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων. Επιπλέον, μια ενδεχόμενη κάλυψη μεγάλου τμήματος στεγών με βλάστηση μπορεί να μετριάσει το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας. Σημαντικά πλεονεκτήματα για τον ιδιώτη είναι η αύξηση της αντικειμενικής αξίας του ακινήτου, αλλά και η μείωση του κόστους συντήρησης της στέγης, καθώς μέσω των στρωμάτων της πράσινης στέγης αυξάνεται η μέση διάρκεια ζωής της. Ένα άλλο συμπέρασμα που εξήχθη είναι ότι η πλειοψηφία του κόσμου θεωρεί τους αισθητικούς λόγους, τους πλέον σημαντικούς, για την κατασκευή μιας πράσινης στέγης σε αντίθεση με τους περιβαλλοντικούς.

Ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί η πράσινη στέγη επιλέγεται και ο τύπος αυτής (εντατικός, εκτατικός ή ημιεντατικός). Σε περίπτωση που η εφαρμογή της πράσινης στέγης πραγματοποιείται μόνο για περιβαλλοντικούς λόγους προσφορότερος τύπος είναι ο εκτατικός, ο οποίος αποτελεί και ιδανική προσέγγιση για την κάλυψη μιας οροφής όταν είναι περιορισμένη ή ανύπαρκτη η ανθρώπινη πρόσβαση, λόγω της πρακτικά μηδενικής συντήρησης του, η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιορισμένη ποικιλία φυτών που μπορεί να φιλοξενήσει ο τύπος αυτός. Στην εκ των υστέρων μετατροπή της συμβατικής στέγης προτιμάται συνήθως ο εκτατικός τύπος πράσινης στέγης λόγω πιθανής στατικής ανεπάρκειας και υψηλού κόστους

ενίσχυσης της ήδη υπάρχουσας κατασκευής. Ο ημιεντατικός τύπος αποτελεί μια ενδιάμεση λύση και επιλέγεται όταν η στέγη δύναται να προσεγγιστεί από παρακείμενα κτίρια, αλλά η δυνατότητα πρόσβασης σε αυτή είναι περιορισμένη, ενώ παράλληλα το κατάστρωμα της στέγης δεν μπορεί να υποστηρίξει στατικά τον εντατικό τύπο. Για πράσινες στέγες με πολλαπλή χρησιμότητα είναι προτιμότερος ο εντατικός τύπος, ο οποίος όμως αποτελεί τη δυσχερέστερη οικονομικά λύση.

Όσον αφορά στα συστήματα σχεδιασμού, τα πλήρη συστήματα ευνοούν την ανάπτυξη μεγάλης ποικιλίας βλάστησης, αλλά λόγω του βάρους τους έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής. Από την άλλη πλευρά, τα προκαλλιεργημένα φυτικά καλύμματα απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, αλλά ο αριθμός των φυτών που μπορούν να αναπτυχθούν σε αυτά είναι μικρός. Τέλος, τα αρθρωτά συστήματα, τα οποία προτιμώνται από τους περισσότερους κατασκευαστές, χαρακτηρίζονται από απλότητα σχεδιασμού, εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση, διαφορετικά υποστρώματα ανάπτυξης φυτών και δυνατή αναδιάταξη μετά την κατασκευή.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για τα διάφορα στρώματα της πράσινης στέγης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η ανάγκη ή όχι ενός στρώματος θερμομόνωσης και οι προδιαγραφές για την αδιάβροχη μεμβράνη εξαρτώνται κυρίως από τις απαιτήσεις για μόνωση του εκάστοτε κτιρίου. Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις: η πράσινη στέγη χωρίς θερμομονωτική μεμβράνη και η «θερμομονωμένη στέγη», οι οποίες χρησιμοποιούνται σε εκτατικό τύπο, καθώς και η ανεστραμμένη στέγη που εφαρμόζεται στον εντατικό τύπο. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα υλικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το στρώμα θερμομόνωσης. Τα πιο αποδοτικά με βάση τη βιωσιμότητα τους είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS), το αφρώδες γυαλί με μια σφραγισμένη επιφάνεια και το ενισχυμένο με γυαλί σκυρόδεμα. Στα ανεστραμμένα συστήματα, επειδή η θερμομονωτική μεμβράνη είναι πάνω από την αδιάβροχη μεμβράνη, το υλικό πρέπει να είναι αδιαπέρατο και ως εκ τούτου προτείνεται η εξηλασμένη πολυστερίνη.
- Η μονωτική μεμβράνη έχει ως στόχο την προστασία του κτιρίου από τις διαρροές. Κατασκευάζεται από ποικίλα υλικά όπως είναι η ελαστική μεμβράνη

(EPDM), τα συνθετικά ασφαλτόπανα, τα ενισχυμένα φύλλα PVC, τα συνθετικά ελαστικά και οι θερμοπλαστικές πολυολεφίνες. Εφαρμόζεται στην επιφάνεια του κτιρίου, είτε σε υγρή μορφή είτε υπό μορφή φύλλων. Από πολλούς υποστηρίζεται ότι η εφαρμογή της σε υγρή μορφή προσφέρει καλύτερη στεγανοποίηση και ευκολότερη συντήρηση των μεμβρανών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη δυσκολία της επιδιόρθωσης των μεμβρανών υπό μορφή φύλλων την καθιστά προσφορότερη επιλογή. Μετά την εφαρμογή της στη δεδομένη επιφάνεια, είναι σημαντικός ο έλεγχος ως προς την αδιαπερατότητα της και η επισκευή αυτής σε περίπτωση ανάγκης.

- Σε περίπτωση που η μονωτική μεμβράνη περιέχει άσφαλτο ή άλλα οργανικά υλικά, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της από το υπόστρωμα ανάπτυξης, με ένα ενδιάμεσο στρώμα (μεμβράνη ελέγχου ριζών) για την αποφυγή διεισδύσεων του ριζικού συστήματος στην ευπαθή αυτή μεμβράνη. Η αντιρριζική μεμβράνη είναι συνήθως κατασκευασμένη από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HPDE), ή από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), ή από εύκαμπτη πολυολεφίνη (FPO) ή από EPDM.
- Το αποστραγγιστικό σύστημα επιτρέπει την ενιαία αποστράγγιση και τον αερισμό του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών, ενώ παράλληλα αποτελεί ισχυρή προστατευτική στρώση για τις υποκείμενες μεμβράνες. Πολλές φορές λειτουργεί και σα μικρή δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Το υλικό που επιλέγεται για την κατασκευή αυτής της στρώσης είναι υψηλής πυκνότητας ανακυκλωμένο πολυαιθυλένιο (HDPE), ή ενισχυμένο πλαστικό (ABS) ή ανακυκλωμένο πολυστυρένιο (recycled PS) με αμφίπλευρες εγκολπώσεις και κενούς χώρους στους οποίους συσσωρεύεται και αποθηκεύεται το νερό.
- Ο σκοπός του διηθητικού φύλλου είναι να αποτρέπει την είσοδο των λεπτόκοκκων σωματιδίων στο αποστραγγιστικό στρώμα για να αποφευχθεί η μείωση της ικανότητας αποστράγγισης ή ακόμη και το φράξιμο όλου του συστήματος. Υφάσματα με κρυσταλλικές ίνες ή από πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.
- Το υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών είναι αναγκαίο να εξασφαλίζει επαρκή αερισμό του ριζικού συστήματος των φυτών ακόμη και σε συνθήκες κορεσμού.

Παράλληλα, πρέπει να έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, μικρή συμπίεστικότητα για να διευκολύνει την αποστράγγιση των υδάτων και είναι αναγκαίο να αποτελεί σταθερή βάση για τη βλάστηση που αναπτύσσεται σε αυτό, προκειμένου τα φυτά να είναι ανθεκτικά στους ισχυρούς ανέμους και η διάβρωση να είναι πρακτικά μηδενική. Ένα άλλο απαραίτητο χαρακτηριστικό του είναι το μικρό βάρος που πρέπει να έχει (μετρημένο σε κατάσταση κορεσμού). Στο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών κρίνεται καλό να περιέχεται ένα ποσοστό των οργανικών υλικών, το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% του συνολικού υποστρώματος. Τέλος, κατά την εφαρμογή των διαφορετικών συστημάτων υποδομής πράσινων στεγών δεν χρησιμοποιείται κηπαίο χώμα. Το κηπαίο χώμα είναι ανομοιογενές και λόγω της μεγάλης του πυκνότητας επιβαρύνει το φορέα με μεγάλα φορτία.

- Μεγάλο εύρος φυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το στρώμα της πράσινης στέγης. Στο Μεσογειακό χώρο, τα φυτά που επιλέγονται είναι αναγκαίο να έχουν αυξημένη αντοχή στη ζέση και στην ξηρασία. Συνηθισμένη επιλογή αποτελούν τα φυτά CAM (παχύφυτα, κάκτοι, sedum), τα οποία είναι ανθεκτικά σε συνθήκες λειψυδρίας, έχουν υψηλή αντίσταση κατά των εντόμων, χαμηλό κόστος συντήρησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι καλαισθητα, χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα για τις πράσινες στέγες.

Συγκεκριμένα, στον εκτατικό τύπο επιλέγονται φυτά που έχουν μικρό ριζικό σύστημα, αναγεννητικές ιδιότητες και μεγάλη αντίσταση σε αντίξοες για την ανάπτυξη τους καιρικές συνθήκες (άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ξηρασία, παγετός, ισχυροί άνεμοι). Ένα άλλο συμπέρασμα είναι ότι τα πιο ψηλά φυτά, με μεγαλύτερη διάμετρο, βλαστούς και ρίζες προτιμώνται σε περιπτώσεις όπου ο κύριος στόχος της πράσινης στέγης είναι η μείωση την απορροής. Η ποικιλία των φυτών που θα χρησιμοποιηθεί στο στρώμα της βλάστησης είναι δυνατό να συμβάλλει στη μείωση της απορροής. Στα μεσογειακά κλίματα, η άρδευση είναι απαραίτητη για όλους τους τύπους πράσινων στεγών.

Όλες οι στέγες χρειάζονται έστω και ελάχιστη συντήρηση. Λόγω του πιο σύνθετου σχεδιασμού και της μεγαλύτερης ποικιλομορφίας στη βλάστηση οι εντατικού τύπου

πράσινες στέγες συνήθως απαιτούν πιο συχνούς ελέγχους από αυτές που έχουν εκτατικό χαρακτήρα. Όσον αφορά στη μονωτική μεμβράνη, η οπτική επιθεώρηση και η συντήρηση καθίσταται πολλές φορές περίπλοκη, καθώς το επιλεγμένο σύστημα της πράσινης στέγης την καλύπτει πλήρως.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού συντελεί στην εξοικονόμηση του πόσιμου νερού με την ανακύκλωση του πρώτου, τόσο σε εσωτερικούς, όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Μάλιστα, το ποσοστό μείωσης της καταναλισκόμενης ποσότητας του πόσιμου νερού δύναται να φθάσει στο 40%. Παράλληλα, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε φωσφόρο, κάλιο και άζωτο, το γκρι νερό αποτελεί πηγή λιπάσματος στην περίπτωση αρδευτικής χρήσης. Τέλος, με την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού παρατηρείται μείωση του όγκου των λυμάτων και της αντίστοιχης κατασκευής αποχετευτικών δικτύων.

Όσον αφορά στις τεχνολογίες επεξεργασίας του γκρι νερού, τα απλά συστήματα προτιμάται να χρησιμοποιούνται σε μικρή κλίμακα για την επεξεργασία γκρι νερού μικρού σχετικά ρυπαντικού φορτίου. Η προκύπτουσα εκροή δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο για τα καζανάκια, όσο και για την άρδευση. Συμπεράσματα για τα χημικά συστήματα δεν εξάγονται διότι η τεχνολογία που βασίζεται στις χημικές διεργασίες δεν έχει αναλυθεί εκτενώς. Στα φυσικά συστήματα που αποτελούνται από αμμόφιλτρα και ένα στάδιο απολύμανσης παρατηρείται βελτίωση μόνο στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών και σε αυτά με αμμόφιλτρα, ενεργό άνθρακα και απολύμανση δεν υπάρχει ιδιαίτερη βελτίωση όσον αφορά στην απομάκρυνση των στερεών. Από την άλλη πλευρά, τα φυσικά συστήματα που περιέχουν μεμβράνες, ενώ παρέχουν περιορισμένη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, όσον αφορά στην απομάκρυνση των διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών, η απόδοση τους είναι εξαιρετική. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη συντήρηση των μεμβρανών για πιθανότητα έμφραξης. Τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού δεν λειτουργούν αυτοτελώς. Τις περισσότερες φορές συνδυάζονται με ένα στάδιο φυσικής προεπεξεργασίας, είτε μέσω της καθίζησης είτε μέσω της εκσχάρωσης, και ακολουθούνται από ένα στάδιο απολύμανσης. Τα εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας του γκρι νερού περιλαμβάνουν τεχνητούς υγροβιότοπους, οι οποίοι πραγματοποιούν καλή

επεξεργασία του γκρι νερού. Τα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ο μικρός βαθμός απομάκρυνσης των μικροοργανισμών και η υψηλή απαίτηση χώρου.

Η συλλογή του βρόχινου νερού για επαναχρησιμοποίηση, στις αστικές και αγροτικές περιοχές, σε επίπεδο κτιρίου, χρησιμοποιείται για την άρδευση, τα καζανάκια και το πλυντήριο ρούχων. Το βρόχινο νερό είναι σχετικά καθαρό με αποτέλεσμα το κόστος επεξεργασίας του να είναι μικρό. Από τις χερσαίες πρακτικές και αυτές που εφαρμόζονται στις οροφές προτιμώνται οι δεύτερες, καθώς η ποιότητα του συλλεγόμενου νερού είναι καλύτερη. Όσον αφορά στις τεχνολογίες επεξεργασίας του βρόχινου νερού, οικονομικά προσφορότερη λύση αποτελεί το σύστημα υπέργιας δεξαμενής συγκριτικά με αυτό που περιλαμβάνει υπόγεια δεξαμενή.

7.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Κατά τη διάρκεια μελέτης της λειτουργίας του μοντέλου στην Εθνική Πινακοθήκη εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Σε συνήθεις βροχοπτώσεις παρατηρείται αισθητή μείωση της συνολικής απορροής με τη χρήση του συστήματος πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού. Σε περιπτώσεις καταιγίδας, οι τιμές της επιφανειακής απορροής ελαττώνονται, αλλά σε μικρό βαθμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η βροχή (68,8 mm) που πραγματοποιήθηκε στις 25/11/2005, όπου προκάλεσε απορροή 117,46 m³ (πράσινη στέγη) και 135 m³ (παραδοσιακή στέγη).
- Η καθημερινή προσθήκη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης κρίνεται αναγκαία από τα μέσα Μαΐου έως τα τέλη Σεπτεμβρίου. Επιπλέον, παρατηρούνται μεμονωμένες ανάγκες πρόσθεσης νερού μέχρι τα μέσα Νοεμβρίου, ενώ το υπόλοιπο διάστημα η προστιθέμενη ποσότητα νερού είναι μηδενική. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό, καθώς η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από ξηρό καλοκαίρι και ήπιους χειμώνες με αποτέλεσμα οι αρδευτικές ανάγκες να είναι αυξημένες την άνοιξη και το καλοκαίρι. Σημειώνεται ότι κατά το υδρολογικό έτος 2009 – 2010 δεν ήταν αναγκαία η χρήση πόσιμου νερού, πιθανότατα, λόγω της κατανομής των βροχοπτώσεων.

Από τα νομογραφήματα σχεδιασμού που προέκυψαν συμπεραίνεται ότι:

- Η αύξηση του ποσοστού πράσινης στέγης οδηγεί σε μείωση της συνολικής απορροής και αύξηση της αναγκαίας προστιθέμενης ποσότητας νερού.
- Οι μικρότεροι όγκοι δεξαμενών αποθήκευσης επιφέρουν αύξηση της συνολικής απορροής και της αναγκαίας προστιθέμενης ποσότητας νερού.

Όσον αφορά στη σχέση μεταξύ του ποσοστού της πράσινης στέγης, της χωρητικότητας της δεξαμενής, και της βέλτιστης διαχείρισης της απορροής και της προστιθέμενης ποσότητας νερού εξήχθησαν τα παρακάτω:

- Παρατηρείται αύξηση του ποσοστού της πράσινης στέγης όσο αυξάνεται η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης για συγκεκριμένη περίπτωση ενδιαφέροντος ελαχιστοποίησης της συνολικής απορροής και του προστιθέμενου νερού.
- Στην περίπτωση που έχει ενδιαφέρον μόνο η ελαχιστοποίηση της συνολικής απορροής, το ποσοστό της πράσινης στέγης είναι ανεξάρτητο του όγκου δεξαμενής αποθήκευσης και λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα.
- Στην περίπτωση που έχει ενδιαφέρον μόνο η ελαχιστοποίηση του προστιθέμενου νερού, το ποσοστό της πράσινης στέγης είναι ανεξάρτητο του όγκου δεξαμενής αποθήκευσης και λαμβάνει τιμή ίση με το μηδέν.
- Για συγκεκριμένο όγκο δεξαμενής αποθήκευσης νερού, όσο περισσότερη βαρύτητα έχει η ελαχιστοποίηση της συνολικής απορροής έναντι της προστιθέμενης ποσότητας νερού τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι και το ποσοστό κάλυψης με πράσινη στέγη.
- Στην περίπτωση που το βάρος της συνολικής απορροής είναι 0,7 και του προστιθέμενου νερού 0,3 παρατηρείται ότι ενώ στην αρχή το ποσοστό της πράσινης στέγης αυξάνεται με τον όγκο της δεξαμενής, εν συνεχεία, όταν αυτό προσεγγίζει την τιμή 0,6 μειώνεται. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, καθώς με την αύξηση του ποσοστού κάλυψης με πράσινη στέγη, η αναγκαία προστιθέμενη ποσότητα νερού είναι τέτοια που επηρεάζει το αποτέλεσμα της βέλτιστης τιμής του συνδυασμού $0,7 \times R_{tot} + 0,3 \times W$ και έχει ως συνέπεια την ακόλουθη μείωση της επιφάνειας της πράσινης στέγης.

Όσον αφορά στη μεταβολή της ροής στα καζανάκια, το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι η συνολική απορροή αυξάνεται και η προστιθέμενη ποσότητα μειώνεται, όσο μειώνεται η ροή στα καζανάκια.

Από την ανάλυση ευαισθησίας για τις παραμέτρους του φυτικού συντελεστή, της ελάχιστης εδαφικής υγρασίας και του πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης της βλάστησης απορρέουν τα εξής:

- Όσο αυξάνεται ο φυτικός συντελεστής τόσο αυξάνεται το αναγκαίο πρόσθετο νερό και μειώνεται η συνολική απορροή.
- Στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, όσο αυξάνεται η ελάχιστη υγρασία του εδαφικού υποστρώματος τόσο αυξάνεται το αναγκαίο πρόσθετο νερό και μειώνεται η συνολική απορροή. Αντίθετα, χωρίς δεξαμενή, τόσο η προστιθέμενη ποσότητα όσο και η συνολική απορροή αυξάνεται με την αύξηση της εδαφικής υγρασίας.
- Όταν το σύστημα δεν περιλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, όσο αυξάνεται το πάχος του εδαφικού υποστρώματος η συνολική απορροή και η αναγκαία προστιθέμενη ποσότητα μειώνεται. Στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, η συνολική απορροή αυξάνεται σε μικρό βαθμό, ενώ το πρόσθετο νερό μειώνεται

Οι μέγιστες τιμές της μέσης ημερήσιας λανθάνουσας θερμότητας πραγματοποιούνται το καλοκαίρι, τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, όπου η εξατμοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη, και αντίθετα οι ελάχιστες τιμές καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες κατά τη διάρκεια των οποίων η διεργασία της εξατμοδιαπνοής είναι μικρή.

Στην περίπτωση που μελετάται μόνο η κατασκευή πράσινης στέγης στην ταράτσα της Εθνικής Πινακοθήκης, χωρίς την πρόσθετη τεχνολογία της συλλογής βρόχινου νερού από μαύρη στέγη συμπεραίνονται τα εξής:

- Κατά το μεγαλύτερο μέρος της χρονικής περιόδου διεξαγωγής της συγκεκριμένης μελέτης η προσθήκη πόσιμου νερού κρίνεται αναγκαία, καθώς το επεξεργασμένο γκρι νερό από τους νιπτήρες της εθνικής πινακοθήκης καλύπτει μόνο τη ζήτηση για τα καζανάκια και όχι τις αρδευτικές ανάγκες της βλάστησης.

- Όσον αφορά στις υπερχειλίσεις της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού, αυτές λαμβάνουν χώρα κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά σε ορισμένα υδρολογικά έτη και τους μήνες του Οκτωβρίου και του Νοεμβρίου.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν όταν εφαρμόστηκε στην τaráτσα της Εθνικής Πινακοθήκης μόνο η συλλογή βρόχινου νερού από τη μαύρη στέγη καταγράφονται παρακάτω:

- Κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου μελέτης του συστήματος η προσθήκη πόσιμου νερού δεν κρίνεται απαραίτητη. Το γεγονός αυτό είναι λογικό καθώς τη ζήτηση για καζανάκια την καλύπτει η ποσότητα του επεξεργασμένου γκρι νερού.
- Όσον αφορά στις υπερχειλίσεις της δεξαμενής, παρατηρείται ότι ο αριθμός αυτών είναι μεγάλος καθ' όλο το υδρολογικό έτος, με αιχμές που παρουσιάζονται κυρίως το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο.

Σε ημερήσιο βήμα η συνολική απορροή είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο η τεχνολογία συλλογής βρόχινου νερού από τη μαύρη στέγη. Συμπεράσματα από τη σύγκριση μεταξύ των άλλων δύο συστημάτων δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν.

Τέλος, όσον αφορά στη μέση ετήσια ποσότητα προστιθέμενου νερού, αυτή ήταν 444,22 m³ για το συνδυασμό πράσινης στέγης – συλλογής βρόχινου νερού, 635,46 m³ για την πράσινη στέγη και 0 m³ για τη συλλογή βρόχινου νερού από μαύρη στέγη. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι για την εξοικονόμηση προστιθέμενου πόσιμου νερού βέλτιστη λύση είναι η τελευταία από τις ανωτέρω.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώχθηκε η διαχείριση των ομβρίων σε επίπεδο κατοικίας μέσω της πράσινης στέγης, της τεχνολογίας συλλογής βρόχινου νερού από τη μαύρη στέγη και της επαναχρησιμοποίησης του γκρι νερού. Δόθηκε έμφαση στην ποσοτική διακύμανση της απορροής και της αναγκαίας προστιθέμενης ποσότητας πόσιμου νερού. Προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω, τίθενται ζητήματα οικονομικής ανάλυσης της κάθε τεχνολογίας. Πέρα από το κόστος κατασκευής και συντήρησης τους, προτείνεται να διερευνηθεί η ποιοτική διαχείριση των ομβρίων. Προς αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσαν να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του βρόχινου νερού και να βρεθούν κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας ομβρίων που κυκλοφορούν στην αγορά και να συγκριθούν, προκειμένου να διαπιστωθεί η οικονομικά προσφορότερη λύση. Σε αυτό το πλαίσιο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και ανάλυση κόστους οφέλους για όλα τα συστήματα, συμπεριλαμβανομένης της ποσοτικής και της ποιοτικής συνιστώσας.

Τέλος, μια ακόμη οπτική γωνία που δεν εξετάστηκε εκτενώς και χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση αφορά στην ενεργειακή αποδοτικότητα της πράσινης στέγης και στη μείωση που επιφέρει στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Agarawal A. and Narain S. (1997), "Dying Wisdom; rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems." Centre for Science and Environment (CSE), New Delhi, India.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. (1998), "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage" Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, pp. 300
- Alumasc Exterior Building products (2004). Alumasc, Green Roof Systems, Zinco. (Διαθέσιμο: <http://www.alumasc-exterior.co.uk/PDFS/Zinco.pdf>)
- Andersen M., Kristensen G. H., Brynjolf M. and Gruttner H. (2001), "Pilot-scale testing membrane bioreactor for wastewater in industrial laundry." Water Science Technology, vol. 46 (4–5), pp. 67–76
- Axter Ltd. (2004), "Axter Intensive roof gardens" (Διαθέσιμο: <http://www.axter.co.uk/green/greenint.html>)
- Bass B., Kuhn M., Peck S. (1998), "Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada"
- Bianchini and Hewage (2012), "Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach", Building and Environment, Vol. 58, pp. 152-162.
- Birks R. (1998), "Biological aerated filters and membranes for greywater treatment." MSc Thesis, Cranfield University
- BMT WBM (2009), "Evaluating options for water sensitive urban design – a national guide" Prepared by the Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities: In delivering Clause 92(ii) of the National Water Initiative, Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities (JSCWSC), Canberra
- Carter T. and Butler C. (2008), "Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas." Cities and the Environment vol.1 (2), pp. 17
- Carter T. and Rasmussen T. (2006), "Evaluation of the hydrologic behavior of green roofs." Journal of the American Water Resources Association vol. 42, pp. 1261–1294
- Carter T.L. and C.R. Jackson (2007). "Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales." Landscape and Urban Planning vol.80, pp. 84-94.

- CIBSE (2007), "Green Roofs (CIBSE Knowledge series KS: 11)", ISBN: 9781903287873
- CIRIA (2000), "Sustainable urban drainage systems, a design manual for England and Wales." CIRIA publication C522. London: Construction Industry Research and information association
- City of Indianapolis (1995), "Stormwater Design and Specification Manual"
- Coffman and Larry (2000). "Low-Impact Development Design Strategies, An Integrated Design Approach." EPA 841-B-00-003. Prince George's County, Maryland. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division
- Communities and Local Government (2010) "Code for Sustainable Homes: Technical Guide.", (Διαθέσιμο: <http://www.communities.gov.uk>)
- Connellan G. and Symus P. (2006), "The development and evaluation of landscape coefficients", Melbourne, Australia
- CSIRO (1999), "Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines", (electronic edition published by CSIRO publishing 2006)
- CSIRO (2005), "WSUD Engineering Procedures: Stormwater by Melbourne Water." ISBN: 9780643092235.
- Defra (2008), "future water the government's water strategy for England"
- Donofrio, J, Kuhn, Y, McWalter, K, and Winsor, M. (2009), "Water Sensitive Urban Design: An emerging model in sustainable design and comprehensive water cycle management", Environmental Practice, vol. 11 (3), pp. 179–189
- Doorenbos J. and Pruitt W.O (1975), "Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage" Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp.179
- Dunnet N. P. and Kingsbury N. (2004), "Planting Green Roofs and Living Walls.", Portland
- Eadie Malcolm (2011), "Water Sensitive Urban Design for the Coastal Dry Tropics (Townsville): Design Objectives for Stormwater Management"
- Environment Agency (2008), "Harvesting Rainwater for Domestic Uses: An Information Guide"
- EPA (1992), "Guidelines for water reuse.", US Agency for International Development, Washington DC

- EPA (2007), "Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices" December 2007 EPA 841-F-07-006, (Διαθέσιμο: www.epa.gov/nps/lid)
- Eriksson E. (2002), "Potential and problems related to reuse of water in households." PhD. Thesis, Environment and Resources DTU, Technical University of Denmark, ISBN: 87-89220-69-2
- FBR (2005), "Greywater Recycling: planning fundamentals and operation information. Association for Rainwater Harvesting and Water Utilisation"
- Ferguson B.K. (1998), "Introduction to Stormwater: Concept, Purpose and Design." Wiley, New York
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau [FLL] (Landscape, Research, Development and Construction Society) (2002), "Guideline for the Planning, Execution, and Upkeep of Green-roof Sites."
- Frith M and Gedge D (2005), "Storm water amelioration" (Διαθέσιμο: <http://www.livingroofs.org/livingpages/benwaterunoff.html>)
- Gould, J. and Nissen - Petersen E. (1999), "Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply" IT Publications, London.
- Grant G., Englebeck L. and Nicholson B. (2003), "Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas". English Nature Research Reports, vol. 498, pp. 9-59
- Gravatt, D. A., and Martin, C. E. (1992), "Comparative ecophysiology of five species of Sedum (Crassulaceae) under well-watered and drought-stressed conditions.", Oecologia, vol. 92, pp. 532-541
- Green roof design resource manual (2010), (Διαθέσιμο: <http://www.docstoc.com/docs/33423066/GREEN-ROOF-DESIGN-RESOURCE-MANUAL>)
- GRO (2011), "The GRO Green Roof Code" (Διαθέσιμο: www.groundwork.org.uk/sheffield)
- Hall J. B., Batten C. E. and Wilkins J. R. (1974), "Domestic Wash Water Reclamation for Reuse as Commode Water Supply Using a Filtration—Reverse Osmosis Technique."
- Hargreaves G.H. (1983), Discussion of "Application of Penman wind function" by Cuenca, R.H. and Nicholson, M.J. J., Irrig. and Drain. Engrg., ASCE vol. 109 (2), pp. 277-278

- Hendriks N. and Hooker J. (1994), "The Green Roofs of Europe",
- Hoban A. and Wong T.H.F. (2006), "WSUD resilience to Climate Change", 1st International Hydropolis Conference, Perth WA, October 2006
- Hypes W., Batten C. E. and Wilkins J. R. (1975), "Processing of Combined Domestic Bath and Laundry Waste Waters for Reuse as Commode Flushing Water."
- Jefferson B, Laine A, Parsons S, Stephenson T and Judd S. (1999), "Technologies for domestic wastewater recycling." *Urban Water*, vol. 1 (4), pp. 285–292.
- Kasmin H., Stovin V.R., and Hathway E.A. (2010), "Towards a generic rainfall-runoff model for green roofs", *Water Science Technology*, vol. 62 (4), pp. 898–905
- Khastagir, A and Jayasuriya (2010), "Impacts of using rainwater tanks on stormwater harvesting and runoff quality", *Water Science and Technology*, vol. 62, pp. 324–329.
- Lamont B. B. and Bergl S. M. (1991), "Water relations, shoot and root architecture, and phenology of three co-occurring *Banksia* species: No evidence for niche differentiation in the pattern of water use." *Oikos*, vol. 60, pp. 291–298
- Larcher W. (2003), "Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups (4th edition).", Heidelberg: Springer
- Maceo C. and Martinet (2008). "Urban Stream Syndrome: The Future of Stream Ecosystems in Urban Watersheds." Ph.D Thesis; Biology Department, University of New Mexico
- MacIvor J. S. and Lundholm J. (2011), "Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate.", *Ecological Engineering*, vol. 37, pp. 407–417
- Magnusson T. (1987), "A Showcase of Icelandic National Treasures."
- Makropoulos C. and Butler D. (2010), "Distributed Water Infrastructure for Sustainable Communities", *Water Resources Management* vol. 24 (11), pp. 2795–2816
- Mars R. (2004), "Case studies of greywater recycling in Western Australia"
- Martin T.J. (1980) "Supply aspects of domestic rainwater tanks", South Australian Department for the Environment, Adelaide
- McDonough and Partners (1999). "Green roof technology and manufacturers' product literature"

- Mentens J, Raes D and Hermy M. (2005), "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?" *Landscape and Urban Planning* vol. 77, pp. 217–226
- Moran A., Hunt B., and Jennings G. (2004), "A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality, and plant growth", pp. 446-460
- Nagasea A. and 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* vol. 104, pp. 356– 363
- New Jersey Department of Environmental Protection (NJDEP) (2009), "New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual"
- Nolde E. (1999), "Grey water reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings—over ten years experience in Berlin", *Urban Water* vol. 1 (4), pp. 275–284.
- Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B., Coffman R., Doshi H, Dunnett N., Gaffin S., Kohler M., Liu K.K.Y. and Rowe B. (2007) "Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services", *BioScience*, vol. 57 (10) pp. 823-833
- Ottoson J. (2003), "Hygiene Aspects of Greywater and Greywater Reuse", Stockholm.
- Parsons S. A., Bedel C. and Jefferson B. (2000), "Chemical vs. biological treatment of domestic greywater."
- Peck S. and Kuhn M. (2003), "Design guidelines for green roofs", Ontario
- Pederson K. (2003), "Potential Impacts and Issues in Meadows in the Sky: Contemporary Applications for Eco-roofs in the Vancouver Region.", Canada: (Διαθέσιμο:<http://www.sustainablecommunities.agsci.ubc.ca/bulletbody.html>)
- Pidou M. (2006), "Hybrid membrane processes for water reuse." PhD thesis, Cranfield University,
- Pidou M., Memon F., Stephenson T., Jefferson B. and Jeffrey P. (2007), "Greywater recycling: treatment options and applications", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability*, vol. 160 (ES3), pp. 119 – 131
- Prathapar S., Ahmed M., Adawi S. and Sidiari S. (2006), "Design, construction and evaluation of an ablution water treatment unit in Oman : a case study", *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 63 (3), pp. 283 – 292
- PUB (2011), "Engineering Procedures for ABC Waters Design Features"

- Ramon, G., Green M., Semiat R. and Dosoretz C. (2004), "Low strength greywater characterization and treatment by direct membrane filtration", *Desalination*, vol. 170, pp. 241 - 250
- Rohrbach, J. (2003) "The Ancient World, Adonis and New Departures".
- Rozos E., Makropoulos C. and Maksimovic C. (2013). "Rethinking Urban Areas: An Integrated Blue-Green Approach", submitted
- Sansalone J., Kuang X. and Ranieri, V. (2008), "Permeable Pavement as a Hydraulic and Filtration Interface for Urban Drainage" *ASCE J. of Irrigation and Drainage*, vol. 134 (5), pp.666-674
- Scholz-Barth K (2001), "Green Roofs: Stormwater Management From the Top Down Source Environmental Design & Construction (Διαθέσιμο: <http://www.edcmag.com>)
- Shatewi A. A. (2008), "Techno-economics of rainwater harvesting technology for domestic usage and cooling", *Universiti Teknologi Malaysia*.
- Solomon N. (2003), "Vegetation systems atop buildings yield multiple environment benefits.", *Architectural Record*, vol. 191 (3), pp. 149-152
- Sostar-Turk S., Petrinic I. and Simonic M. (2005) "Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration.", *Conservation and Recycling*, vol. 44 (2), pp. 185–196
- Southampton City Council (2009), "Guide to Sustainable Drainage Systems (SUDS). Practical guidance for developers on achieving sustainable drainage" (Διαθέσιμο: <http://www.southampton.gov.uk>)
- Stovin V., Vesuviano G. and Kasmin H. (2011), "The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions", *Journal of Hydrology* pp. 414–415
- Studlara S. and Peckb J. (2009), "Extensive Green Roofs and Mosses: Reflections from a Pilot Study in Terra Alta", *West Virginia. Evansia* vol. 26 (2), pp. 52-63
- Texas Water Development Board (2005), "The Texas Manual on Rainwater Harvesting", 3rd edition, Austin
- Thomas T (1998), "Domestic water supply using rainwater harvesting." *Build. Res. Inf.*, vol. 26 (2), pp. 94-101
- Thompson W.J. (1998), "Green roofs movement." *Landscape Architecture*, vol. 88 (5), pp. 46-51

- Thornthwaite C.W. (1948), "An approach toward a rational classification of climate." Geograph. Rev., vol. 38 (55)
- Velazquez L. (2003), "modular green roof technology: an overview of two systems"
- WCC (2009), Wollongong Development Control Plan (WDCP) (Διαθέσιμο:<http://www.wollongong.nsw.gov.au>)
- Wingfield A (2005), "The Filter, Drain, and Water Holding Components of Green Roof", (Διαθέσιμο: <http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>)
- Woolley T and Kimmins S. (2000), "Green Building Handbook. Volume 2." London: E and FN Spon
- Δάρρας Α. (2008), ΑΝΘΟ-ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ & Κηποτεχνία, Τεύχος 2, σελ.32
- Δίκτυο ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ SOS, Εξοικονόμηση νερού. Ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα για τα σχολεία της νότιας Ευρώπης (2009), (Διαθέσιμο: <http://www.env-edu.gr/>)
- Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ. (1999), Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, σελ. 418, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (νόμος 4067/2012) - Άρθρο 18. Φυτεμένα δώματα.
- Τρικοιλίδου, Ε., Τσιχριντζής Β. Α., Μελίδης Π. και Άκρατος Χ., (2003) «Σύστημα συλλογής – αποθήκευσης και επεξεργασίας της απορροής βρόχινου νερού από στέγες στην Ξάνθη», Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων, σελ. 605 – 612
- Φουρτή και Αμπελιώτης (2008) «Συγκριτική μελέτη συμβατικών και πράσινων ταρατσών: αξιολόγηση κύκλου ζωής πράσινων ταρατσών»

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<http://davincidarlin.blogspot.gr/2008/02/palazzo-piccolomini-pienza.html>

<http://ecocity.gr/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Hanging_Gardens_of_Babylon

http://en.wikipedia.org/wiki/Sediment_basin

<http://freemeteo.com/>

<http://greeningthecity.wordpress.com/green-roofs/>

<http://greenroofireland.blogspot.gr/>

<http://hoa.ntua.gr/>

<http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/>

<http://taratsokipos.blogspot.gr/>

<http://www.efb-greenroof.eu/>

<http://www.egreen.gr/>

<http://www.greenroofguidelines.co.uk>

<http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/>

[http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=593\)](http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=593)

<http://www.greenroofs.org/>

<http://www.legislation.gov.uk/>

<http://www.lindumgreenroofs.co.uk/>

<http://www.meteoclub.gr/>

[http://www.nationalroofingusa.com/garden-roof-ideas-gallery.php\)](http://www.nationalroofingusa.com/garden-roof-ideas-gallery.php)

<http://www.nhbc.co.uk/>

<http://www.nophadrain.nl/>

<http://www.optigreen.co.uk/>

[http://www.pjtgreenplumbing.com.au/\)](http://www.pjtgreenplumbing.com.au/)

<http://www.ppcb.gov.in/>

<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/>

http://www.rdherbert.com/pfolio_green_projects_n01.html

<http://www.sempergreen.com/en/applications/green-roofs>

<http://www.solusrenewableenergy.co.uk/>

<http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm>

<http://www.watercache.com/education/rainwater/>

<http://www.watersolutions.co.za/>

<http://www.wras.co.uk>

<http://www.zinco-greenroof.com>