



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΡΑΛΛΕΙΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θωμάς Τσαντήλας

Επιβλέπων : Χρήστος Μακρόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΡΑΛΛΕΙΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θωμάς Τσαντήλας

Επιβλέπων : Χρήστος Μακρόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2022

Copyright ©–All rights reserved Θωμάς Τσαντήλας, 2022.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	7
Abstract.....	8
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Αντικείμενο Εργασίας.....	9
1.2 Διάρθρωση Εργασίας.....	9
2. Αναλυτική παρουσίαση φυσικών υποδομών για τη διαχείριση του νερού (NBS)	11
2.1 Γενικά στοιχεία.....	11
2.2 Αξιοποίηση του νερού ως φυσικού πόρου και ιστορική σημασία.....	11
2.3 Νέες τεχνολογίες διαχείρισης ομβρίων και αστικής ανάπτυξης.....	18
2.3.1 Βασικές έννοιες.....	18
2.3.2 Πράσινες Υποδομές (Blue-Green Infrastructure).....	22
2.3.3 Επαναχρησιμοποίηση νερού	30
2.4 Οφέλη νέων τεχνολογιών διαχείρισης αστικών υδάτων.....	40
2.4.1 Περιβαλλοντικά οφέλη	40
2.4.2 Οικονομικά οφέλη.....	41
2.5 Νομοθεσία.....	41
2.5.1 Στόχοι νομοθεσίας	42
2.5.2 Περιεχόμενο νομοθεσίας.....	43
2.5.3 Τροποποιημένο νομοθετικό πλαίσιο	44
3. ΕυPOLIS και περιοχή μελέτης	45
3.1 Ερευνητικό πρόγραμμα ΕυPOLIS	45
3.2 Περιοχή Μελέτης	48
3.3 Διαβούλευση με τους κοινωνικούς εταίρους και προτάσεις	53
4. Μεθοδολογία	55
4.1 UWOT (The Urban Water Optioneering Tool).....	55
5. Εφαρμογή φυσικών υποδομών για τη διαχείριση του νερού (NBS) στα Ράλλεια Πειραματικά Σχολεία Πειραιά	61
5.1 Δεδομένα.....	61
5.2 Μετρήσεις.....	64
5.3 Εφαρμογή μοντέλου σε περιπτώσεις μελέτης	67

5.3.1 Θεωρητικά Σενάρια.....	69
5.3.2 Πρακτικά Σενάρια.....	70
5.4 Παραδοχές περιπτώσεων μελέτης.....	71
5.4.1 Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario)	71
5.4.2 Σενάρια NBS (NBS Scenarios)	73
5.5 Διαστασιολόγηση δεξαμενής βρόχινου νερού	75
6. Ανάλυση-Αποτελέσματα	77
6.1 Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario)	77
6.1.1 Προσομοίωση για την πρώτη χρονική περίοδο (Version 1)	80
6.1.2 Προσομοίωση για την δεύτερη χρονική περίοδο (Version 2)	83
6.1.3 Προσομοίωση για όλη την χρονική περίοδο	85
6.1.4 Τελική προσομοίωση συστήματος.....	88
6.2 Σενάρια NBS (NBS Scenarios)	92
6.2.1 Θεωρητικά μοντέλα	92
6.2.2 Μοντέλα προς εφαρμογή	108
6.3 Σύγκριση μοντέλων	119
6.3.1 Θεωρητικά σενάρια.....	120
6.3.2 Σενάρια προς εφαρμογή	127
7. Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	133
7.1 Συμπεράσματα	133
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	136
8. Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	138
9. Παραρτήματα	142

Ευχαριστίες

Το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί και την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών στην σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην εκπόνησή της αλλά και σε αυτούς που με βοήθησαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χρήστο Μακρόπουλο, ο οποίος παρά το απαιτητικό του πρόγραμμα, μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα, διατηρώντας άψογη επικοινωνία σε όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας. Με την βοήθειά του ήρθα σε επαφή και γνώρισα ανθρώπους που συνέβαλλαν στο να πετύχω τον σκοπό μου. Θα ήταν μεγάλη μου χαρά να συνεργαζόμασταν ξανά στο μέλλον.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Σάντρα Μπακή, Υποψήφια Διδάκτορα της σχολής Π.Μ. και τον κ. Ιωάννη Νιάδα, Υποψήφιο Διδάκτορα της σχολής Π.Μ., για την καθοριστική συνεισφορά τους στον σχεδιασμό των μοντέλων, στο πρόγραμμα που χρησιμοποίησα και για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν σχετικά με την βιώσιμη διαχείριση νερού. Η συνεργασία μας ήταν εξαιρετική, παρά τις όποιες δυσκολίες υπήρξαν λόγω της εξ αποστάσεως επίβλεψης της εργασίας λόγω της ασθένειας COVID-19.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους του καθηγητές της σχολής Π.Μ., και ειδικότερα του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για τις αξίες και τις εμπειρίες που μου μετέδωσαν σε όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Πανόπουλο, Διευθυντή των Ράλλειων Πειραματικών Σχολείων Πειραιά, , που ήταν πάντα στην διάθεσή μου για τις όποιες απορίες προέκυπταν σε σχέση με το σχολείο κατά την διάρκεια της μελέτης και με βοήθησε σημαντικά και κατά την επίσκεψή μου στο σχολείο για την διεξαγωγή μετρήσεων. Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω και το σύνολο της σχολικής κοινότητας, τους καθηγητές και τον σύλλογο γονέων και κηδεμόνων για την συνεργασία τους και το ενδιαφέρον που έδειξαν στις προτάσεις που έγιναν για το σχολείο.

Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους τους φίλους μου και συμφοιτητές μου με τους οποίους μοιραστήκαμε εμπειρίες, συνεργαστήκαμε και ανταλλάξαμε ιδέες. Επίσης, οφείλω ένα ευχαριστώ στον Αλέξανδρο για την βοήθειά του με αρκετές φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, τους γονείς μου και την αδερφή μου, για την καθοδήγηση και την στήριξη που μου παρέχουν σε όλη μου την ζωή με κάθε τρόπο.

Θωμάς Τσαντήλας

Αθήνα, 2022

Περίληψη

Σήμερα, το μεγαλύτερο πρόβλημα στους υδατικούς πόρους βρίσκεται στην άνιση κατανομή τους στο χώρο και στον χρόνο, με αποτέλεσμα σε πολλές περιοχές να παρατηρείται έλλειψη και σε άλλες να υπάρχει περίσσεια την οποία ο άνθρωπος δεν μπορεί να διαχειριστεί κατάλληλα. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), ενώ τα διαθέσιμα αποθέματα νερού είναι υπεραρκετά για την εξασφάλιση ενός μέσου βιοτικού επιπέδου για κάθε άτομο, παρατηρούνται έντονα φαινόμενα λειψυδρίας σε πολλά σημεία του πλανήτη. Επίσης, σημαντικά είναι και τα προβλήματα που δημιουργούνται στις πόλεις, όπου εξαιτίας της έντονης αστικοποίησης, δημιουργούνται συχνά φαινόμενα πλημμυρών με καταστροφικές συνέπειες για την ανθρώπινη ζωή και τις υποδομές. Τα ζητήματα αυτά αναμένεται να οξυνθούν ακόμη περισσότερο λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει αυτά τα προβλήματα, να αναλύσει τις διάφορες τεχνολογίες διαχείρισης αστικών υδατικών πόρων και να γίνει μια θεωρητική εφαρμογή ενός συστήματος ήπιας διαχείρισης ομβρίων. Σαν περίπτωση μελέτης επιλέχθηκαν τα Ράλλεια Πειραματικά Δημοτικά Σχολεία Πειραιά, στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου EuPOLIS, με στόχο την εφαρμογή μη συμβατικών συστημάτων για την διαχείριση νερού, όπως οι πράσινες οροφές (Green Roofs) και η επεξεργασία και ανακύκλωση γκρι νερού. Για την εξυπηρέτηση του παραπάνω σκοπού, έγινε αρχικά η μελέτη ενός μοντέλου ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου του υπάρχοντος συστήματος του σχολείου με σκοπό την βαθμονόμηση των παραμέτρων του, σύμφωνα με τα δεδομένα που μας χορηγήθηκαν από την Ε.Υ.Δ.Α.Π. Στην συνέχεια, προσομοιώθηκαν 10 διαφορετικά σενάρια εφαρμογής, διαχωρισμένα τόσο ως προς τις επιφάνειες φύτευσης αλλά και ως προς τις τεχνολογίες άρδευσης αυτών των πράσινων δωματίων, με χρήση δεξαμενής συλλογής βρόχινου νερού, μονάδας επεξεργασίας γκρι νερού και δεξαμενής αποθήκευσης του επεξεργασμένου γκρι νερού. Στόχος ήταν η μείωση της απορροής, της κατανάλωσης πόσιμου νερού από το δίκτυο και η μεγιστοποίηση της αυτονομίας του υποθετικού συστήματος. Επιπλέον, για την επιλογή της χωρητικότητας της δεξαμενής βρόχινου νερού έγινε βελτιστοποίηση μέσω της κατασκευής ενός γραφήματος Pareto. Για τον σχεδιασμό των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό UWOT (Urban Water Optioneering Tool).

Τελικά, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για την συνολική κατανάλωση και την μείωση της απορροής των ομβρίων και προτείνονται 4 από τα σενάρια για πρακτική εφαρμογή τους, ως βέλτιστα από υδρολογικής πλευράς αλλά και ως ιδανικότερα από κατασκευαστική και οικονομική άποψη.

Abstract

Today, the biggest problem in water resources lies in their uneven distribution in space and time, with the result that in many areas there is a shortage and in others there is an excess of water that human cannot properly manage. According to the United Nations Environment Agency (UNEP), while the available water reserves are more than enough to ensure an average standard of living for every person, severe water scarcity phenomena are observed in many parts of the planet. Also important are the problems created in cities, where due to intense urbanization, flooding phenomena are often created with devastating consequences for human life and infrastructure. These issues are expected to become even more acute due to climate change and global population growth.

The aim of the thesis is to highlight these problems, to analyze the various urban water resource management technologies and to make a theoretical application of a gentle rainfall management system. As a case study, the Ralleia Complex Primary Schools of Piraeus were chosen, within the EuPOLIS research project, with the aim of implementing non-conventional systems for water management, such as green roofs and the treatment and recycling of greywater. In order to serve the above purpose, a daily water balance model of the school's existing system was initially studied in order to calibrate its parameters, according to the data provided to us by E.YD.A.P. Then, 10 different application scenarios were simulated, separated both in terms of the planting surfaces and also in terms of the irrigation technologies of these green roofs, using a rainwater collection tank, a greywater treatment unit and a treated greywater storage tank. The aim was to reduce the runoff, the consumption of potable water from the network and to maximize the autonomy of the hypothetical system. In addition, for the selection of the rainwater tank capacity an optimization was done through the construction of a Pareto chart. UWOT (Urban Water Optioneering Tool) software was used to design the models.

Finally, important conclusions are drawn about the total consumption and the reduction of rain runoff and 4 of the scenarios are proposed for their practical application, as optimal from a hydrological point of view but also as more ideal from a construction and economic point of view.

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με στόχο να αναλύσει τις τεχνολογίες διαχείρισης των αστικών υδατικών πόρων. Αναφέρεται σε πληθώρα μη συμβατικών συστημάτων, και κυρίως στα οφέλη που απορρέουν από την χρήση αυτών, δίνοντας έμφαση στις νέες τεχνολογίες, καθώς και στην συγκριτική διαφορά τους με τις παλιότερες μεθόδους. Από τα σημαντικά στοιχεία που παρουσιάζονται είναι το πως οι αλλαγές της νομοθεσίας επηρεάζουν την εφαρμογή των μεθόδων και κυρίως το πως θα πρέπει να διαμορφώνεται και να θεσμοθετείται ένα κατάλληλο πλαίσιο μέσω του οποίου να υπάρχει η κατάλληλη ευελιξία εφαρμογής ανάλογα με την περιοχή και το υπάρχον αστικό σύστημα διαχείρισης.

Για την διερεύνηση της αποδοτικότητας αυτών των συστημάτων, έγινε εφαρμογή ενός σχεδίου ήπιας διαχείρισης ομβρίων στα Ράλλεια Πειραματικά Δημοτικά Σχολεία Πειραιά στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου EuPOLIS, με τον σχεδιασμό ενός μοντέλου που αποτελείται από φυτεμένα δώματα, δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού αλλά και σύστημα επεξεργασίας και ανακύκλωσης γκρί νερού που στόχο έχουν την ελαχιστοποίηση της συνολικής παροχής και της χρήσης πόσιμου νερού. Για την εξυπηρέτηση του παραπάνω σκοπού, μελετήθηκαν 10 διαφορετικά σενάρια εφαρμογής, διαχωρισμένα τόσο ως προς τις επιφάνειες φύτευσης αλλά και ως προς τις τεχνολογίες άρδευσης αυτών των πράσινων δωματίων. Τέλος, προτείνονται 4 από αυτά τα σενάρια για πρακτική εφαρμογή τους, ως βέλτιστα από υδρολογικής πλευράς αλλά και ως ιδανικότερα από κατασκευαστική και οικονομική άποψη.

1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει 9 κεφάλαια:

Στο **1^ο Κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή και αποσαφηνίζονται οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας.

Στο **2^ο Κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια Nature-Based Solutions (NBS). Αρχικά, γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις νέες αντιλήψεις της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικού νερού και αναφέρονται αναλυτικά οι νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια και κυρίως τα οφέλη τους. Στη συνέχεια, γίνεται μια πρώτη αναφορά στο υπάρχον θεσμικό πλαίσιο και τα σημεία στα οποία επηρεάζουν τα ήπια συστήματα διαχείρισης ομβρίων.

Στο **3^ο Κεφάλαιο** περιγράφεται λεπτομερώς η περιοχή μελέτης των Ράλλειων Πειραματικών Σχολείων ως προς το υπάρχον σύστημά της, αλλά και το ερευνητικό πρόγραμμα EuPOLIS μέσα στο οποίο εντάσσεται. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι προτάσεις που προέκυψαν από τις συζητήσεις με την σχολική κοινότητα για τις παρεμβάσεις στο σχολείο. Οι ιδιαιτερότητες για το σύστημα που εφαρμόζεται είναι αξιοσημείωτες, και θέτουν επιτακτική την ανάγκη για επιτάχυνση μέτρων εφαρμογής από την πλευρά της Πολιτείας καθώς και των Δημοτικών Αρχών.

Στο **4^ο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται το πρόγραμμα (UWOT) που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου των Ραλλείων Πειραματικών Δημοτικών Σχολείων Πειραιά.

Στο **5^ο Κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν και τις απαραίτητες μετρήσεις που έγιναν για να σχεδιαστεί σωστά το μοντέλο και παρουσιάζονται συνοπτικά τα μοντέλα εφαρμογής τα οποία προτιμήθηκαν και τα οποία θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω, μαζί με τις παραδοχές που τα αντιπροσωπεύουν.

Στο **6^ο Κεφάλαιο** πραγματοποιείται η ανάλυση για τα σενάρια, διαιρεμένα σε σενάρια με περισσότερο θεωρητική προσέγγιση αλλά και σενάρια με μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον, ενώ γίνεται και η σύγκριση ανά κατηγορία σεναρίων.

Τέλος, στο **7^ο Κεφάλαιο** γίνεται μια επισκόπηση για τα ενδεικτικά συμπεράσματα που προκύπτουν και η εργασία καταλήγει σε συγκεκριμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα για τις εναλλακτικές τεχνολογίες διαχείρισης αστικών υδατικών πόρων.

Στο **8^ο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται η ελληνική και διεθνής βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας.

Στο **9^ο Κεφάλαιο** παρατίθενται τα παραρτήματα γραφημάτων, εικόνων και πινάκων που χρησιμοποιήθηκαν μέσα στην εργασία.

2. Αναλυτική παρουσίαση φυσικών υποδομών για τη διαχείριση του νερού (NBS)

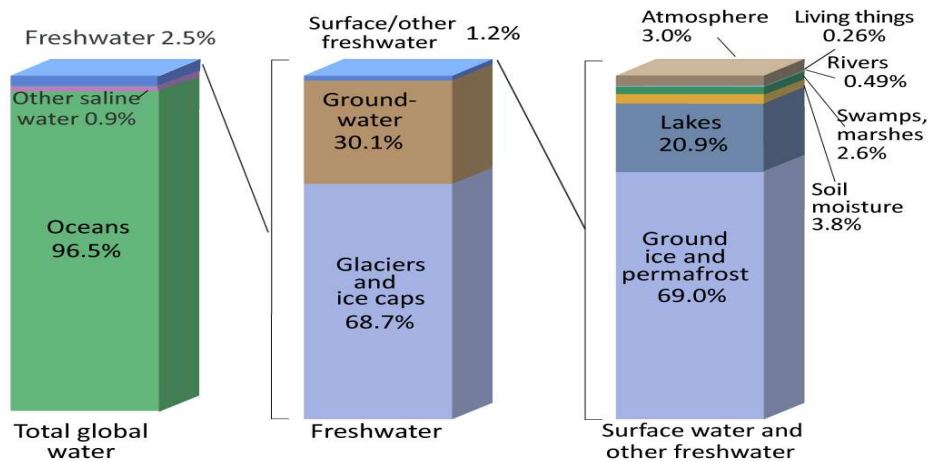
2.1 Γενικά στοιχεία

Η συλλογή και η καταγραφή των βιβλιογραφικών πηγών στηρίχτηκε κυρίως σε επιστημονική βιβλιογραφία καθώς και σε στοιχεία που αντλήθηκαν από διπλωματικές εργασίες παρεμφερούς περιεχομένου και θεματολογίας. Αρχικά, αναφέρονται συγκεντρωτικά στοιχεία τα οποία σχετίζονται με το πρόβλημα της λειψυδρίας (UNEP 2006, Sansalone et al., 2008, Carter and Jackson 2007). Στη συνέχεια, το κεφάλαιο επικεντρώνεται στις μεθόδους και τεχνολογίες διαχείρισης ομβρίων καθώς και κυρίως σε ότι σχετίζεται με την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού, ως βασικό υποκατάστατο για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας (Newman and Mouritz 1996). Ένα από τα βασικά στοιχεία αυτής της εργασίας είναι ότι προσπαθεί να αναδειχθεί ότι η ανακύκλωση νερού (γκρι και βρόχινου) αποτελεί την κυριότερη ελπίδα σε ώστε να καλυφθεί η έλλειψη υδατικών πόρων και να γίνει μια πιο ορθολογική διαχείρισή τους. Στο τέλος του 2^{ου} κεφαλαίου, παρατίθενται στοιχεία από τις εγχώριες νομοθετικές οδηγίες (ΚΥΑ 145116/2011, ΚΥΑ 191002/2013) προκειμένου να οριοθετηθεί θεσμικά η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και πως θα αποφευχθεί να προκύψει κάποιο ζήτημα Δημόσιας Υγείας.

2.2 Αξιοποίηση του νερού ως φυσικού πόρου και ιστορική σημασία

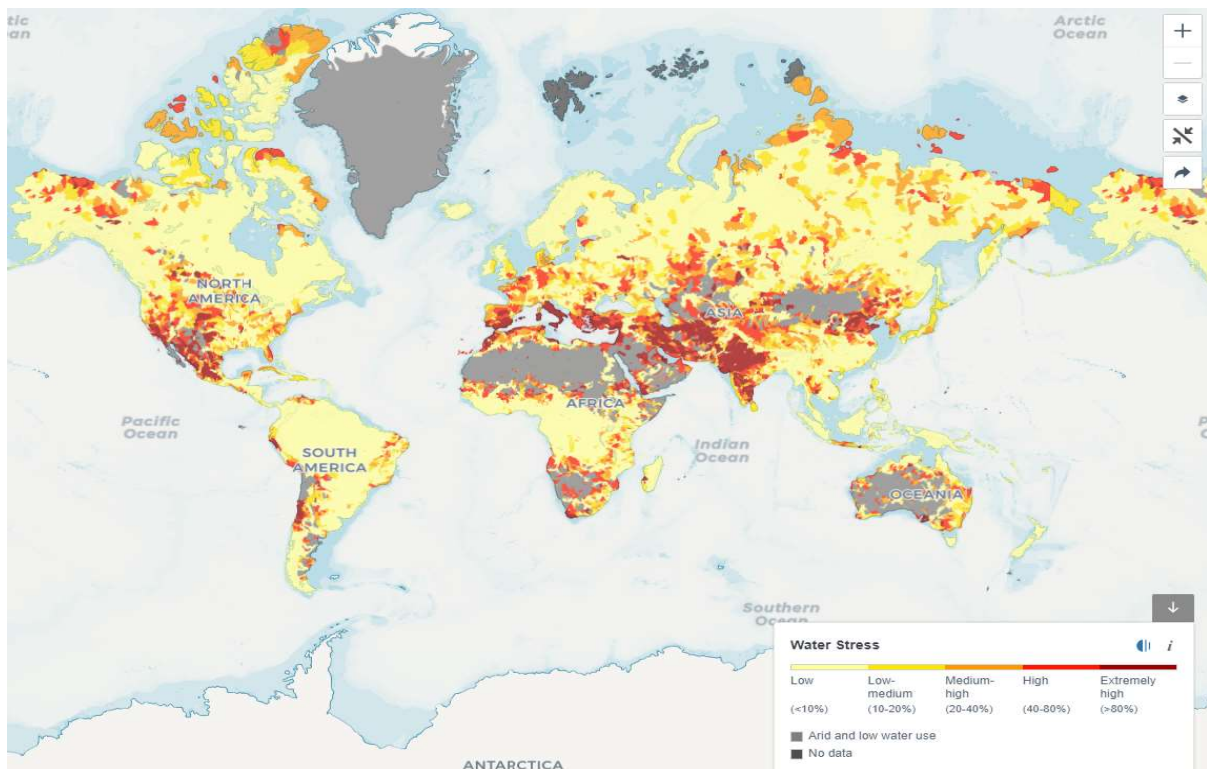
Το νερό είναι ο σημαντικότερος φυσικός πόρος για την ανθρωπότητα, καθώς αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για τη ζωή και την ανάπτυξη. Το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που βρίσκεται στη φύση αποτελεί το θαλασσινό νερό και ανέρχεται στο 97,39% του συνολικού, ενώ ακολουθούν οι πάγοι με ποσοστό 2,01%, τα υπόγεια νερά με ποσοστό 0,58% και τέλος, τα επιφανειακά με ποσοστό 0,02%. Το γλυκό νερό είναι της τάξης του 2,6% και είναι ο κύριος λόγος ύπαρξης και επιβίωσης του ανθρώπινου είδους καθώς αποτελεί έως και το 65% του ανθρώπινου σώματος. Επιπλέον, αποτελεί το κύριο συστατικό και των υπόλοιπων οργανισμών του πλανήτη μας. Το 60% του βάρους ενός δέντρου αντιστοιχεί σε νερό, ενώ στα περισσότερα ζώα και φυτά το 65% είναι νερό (Εικόνα 1).

Where is Earth's Water?



Source: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. (Numbers are rounded).
Εικόνα 1 Γραφική αναπαράσταση της διαθεσιμότητας νερού πάνω στην Γη (USGS, 1993)

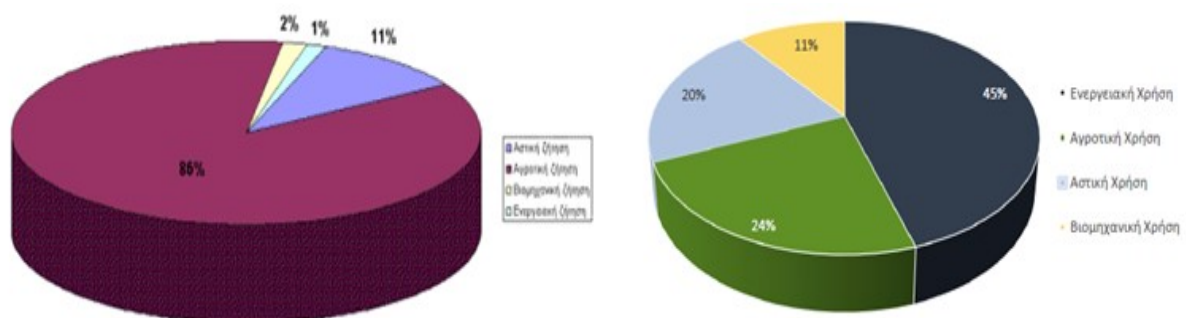
Τα τελευταία χρόνια το αγαθό αυτό βρίσκεται σε ανεπάρκεια, παρ' ότι ένας παρατηρητής που θα ατένιζε τη Γη από το διάστημα θα τη χαρακτήριζε ως «γαλάζιο πλανήτη» λόγω του άφθονου νερού που την καλύπτει. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα που προκύπτει από τα δεδομένα του ινστιτούτου World Resources Institute (WRI) (Εικόνα 2), όπου παρουσιάζεται ο κίνδυνος για τους υδατικούς πόρους μέσω ενός χάρτη που απεικονίζει και αναλύει μεγέθη τόσο ποσοτικά (λειψυδρία, εποχική διαθεσιμότητα νερού, κίνδυνος πλημμύρας) όσο και ποιοτικά (επεξεργασμένα/ ανεπεξέργαστα λύματα, ευτροφισμός) ανά τον κόσμο.



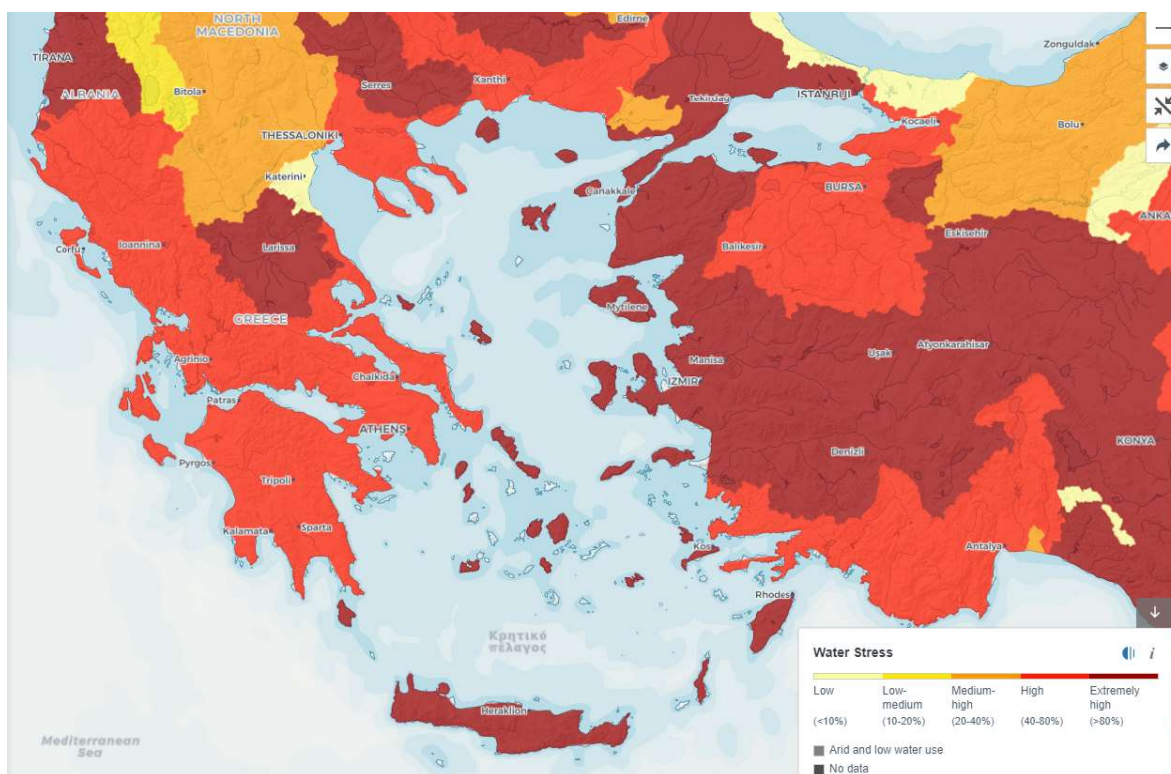
Εικόνα 2 Λόγος ποσότητας νερού που καταναλώνεται προς την ποσότητα νερού που υπάρχει διαθέσιμο στον κόσμο (Baseline Water Stress) (WRI Aqueduct, 2019)

Το μεγαλύτερο πρόβλημα, έγκειται στην άνιση κατανομή του στο χώρο και τον χρόνο με αποτέλεσμα, σε μερικές περιοχές να παρατηρείται έλλειψη και σε άλλες να υπάρχει περίσσεια την οποία ο άνθρωπος δεν μπορεί να διαχειριστεί κατάλληλα. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) σε κάθε άτομο αναλογούν περίπου 7,000 m³ νερού από τα συνολικά 40,000 km³ που είναι διαθέσιμα. Η συγκεκριμένη ποσότητα νερού είναι υπεραρκετή για την εξασφάλιση ενός μέσου βιοτικού επιπέδου για κάθε άτομο. Βέβαια, τα κατά κεφαλήν αποθέματα νερού παγκοσμίως στο τέλος του εικοστού αιώνα είναι λιγότερα κατά 30% από ότι το 1970, λόγω της σημαντικής αύξησης του πληθυσμού (UNEP, 2006). Και πάλι όμως το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται όχι τόσο στην μείωση του λόγου του παγκόσμιου αποθέματος προς τον πληθυσμό της γης αλλά περισσότερο στην άνιση κατανομή του χωρικά. Έτσι εκτιμάται ότι, με τα σημερινά δεδομένα, τα επόμενα 30 χρόνια περισσότερο από το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε περιοχές που θα αντιμετωπίζουν έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, δηλαδή στις αστικές περιοχές, ενώ σημαντικές θα είναι και οι πιέσεις που θα δημιουργηθούν στην διαθεσιμότητα γλυκού νερού, λόγω της ανταγωνιστικής ζήτησης του τόσο από τις πόλεις αλλά και από τις αγροτικές περιοχές.

Στην Ελλάδα τα προβλήματα που παρατηρούνται σχετικά με την ορθή διαχείριση των υδάτων αφορούν στην ποσότητα και την ποιότητα τους αλλά και στα έργα υποδομής για την προστασία τους. Τα μεγαλύτερα αποθέματα σε νερό, κυρίως επιφανειακό, εμφανίζονται στην δυτική και βόρεια Ελλάδα, ενώ οι περιοχές της Αττικής, της Θεσσαλίας, τη Πελοποννήσου και τα περισσότερα νησιά υποφέρουν από λειψυδρία. Όσον αφορά στο υπόγειο νερό, η υπερβολική ζήτηση του που οφείλεται σε πρακτικές εντατικής ανάπτυξης αγροτικών καλλιεργειών αλλά και στο φαινόμενο υφαλμύρισης στα νησιά, οδηγούν στην υποβάθμιση των υπόγειων υδροφορέων. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού είναι η γεωργία με ποσοστό που αγγίζει το 86%, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3. Όπως αποτυπώνεται, σημαντική είναι η διαφορά της Ελλάδας με τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε. στον γεωργικό και βιομηχανικό τομέα.



Εικόνα 3 Κατανάλωση νερού σε Ελλάδα (αριστερά) και Ευρώπη (δεξιά) (Baltas, 2018, Flörke and Alcamo, 2004)

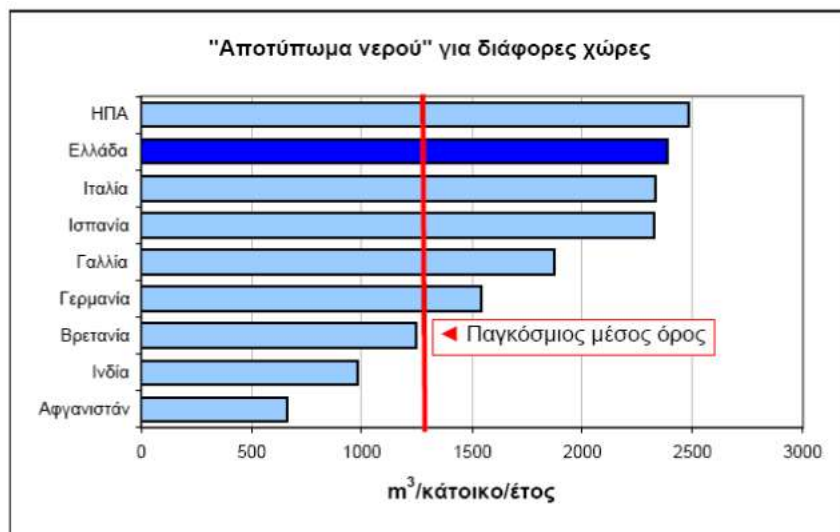


Εικόνα 4 Λόγος ποσότητας νερού που καταναλώνεται προς την ποσότητα νερού που υπάρχει διαθέσιμο στην Ελλάδα (Baseline Water Stress) (WRI Aqueduct, 2019)

Τα προβλήματα εντείνονται κατά τους θερινούς μήνες και λόγω του τουρισμού, με αποτέλεσμα το υδατικό ισοζύγιο να εμφανίζεται ελλειμματικό. Επιπλέον, σχετικά με τις υπάρχουσες υποδομές για τη διαχείριση των υδάτων, το μεγαλύτερο πρόβλημα έγκειται στην έλλειψη συντονισμού μακροχρόνιου διατομεακού προγραμματισμού.

Τέλος, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει και μέλλεται να επηρεάσει ακόμη περισσότερο την διαθεσιμότητα γλυκού νερού κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου η οποία προβλέπεται να πληγεί περισσότερο και υπάρχουν αυξημένες πιθανότητες ερημοποίησης κάποιων περιοχών της (Alpert et al., 2008). Ωστόσο, σύμφωνα με έκθεση των Ηνωμένων Εθνών (UN) που συντάχθηκε το 2006, βασικοί πυλώνες της κρίσης νερού φαίνεται να είναι περισσότερο ζητήματα κακής διαχείρισης, διαφθοράς και έλλειψης κατάλληλων θεσμών και νομοθεσίας και κατά δεύτερο λόγο η έλλειψη επενδύσεων στις υποδομές που αφορούν τους υδατικούς πόρους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η ανεπαρκής πρόσβαση σε νερό, η ανεξέλεγκτη άντληση των υπόγειων υδάτων που οδηγεί σε υφαλμύριση και μειωμένη αγροτική δραστηριότητα, η ρύπανση και η κατάχρηση των διαθέσιμων αποθεμάτων. Στις ανεπτυγμένες χώρες του δυτικού κόσμου συχνά παρατηρείται κατασπατάληση νερού σε καθημερινές δραστηριότητες, όπως σε μεγάλης διάρκειας ντους, στο πότισμα κήπων, στις πισίνες κλπ. Από την άλλη, με την έκρηξη στην εξόρυξη υπόγειου νερού τα τελευταία 50 χρόνια, συχνά παρατηρούνται λανθασμένες αγροτικές πρακτικές στην εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων, με αποτέλεσμα να ταπεινώνεται η στάθμη τους και να διεισδύει θαλασσινό νερό, καθιστώντας το πλέον ακατάλληλο για χρήση. Επιπλέον, η αλόγιστη διάθεση των αστικών υγρών αποβλήτων σε υδάτινα σώματα και η χρήση φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα των διαθέσιμων υδάτων, ενώ στην Ελλάδα μεγάλο ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο σημαντικό πρόβλημα των απωλειών.

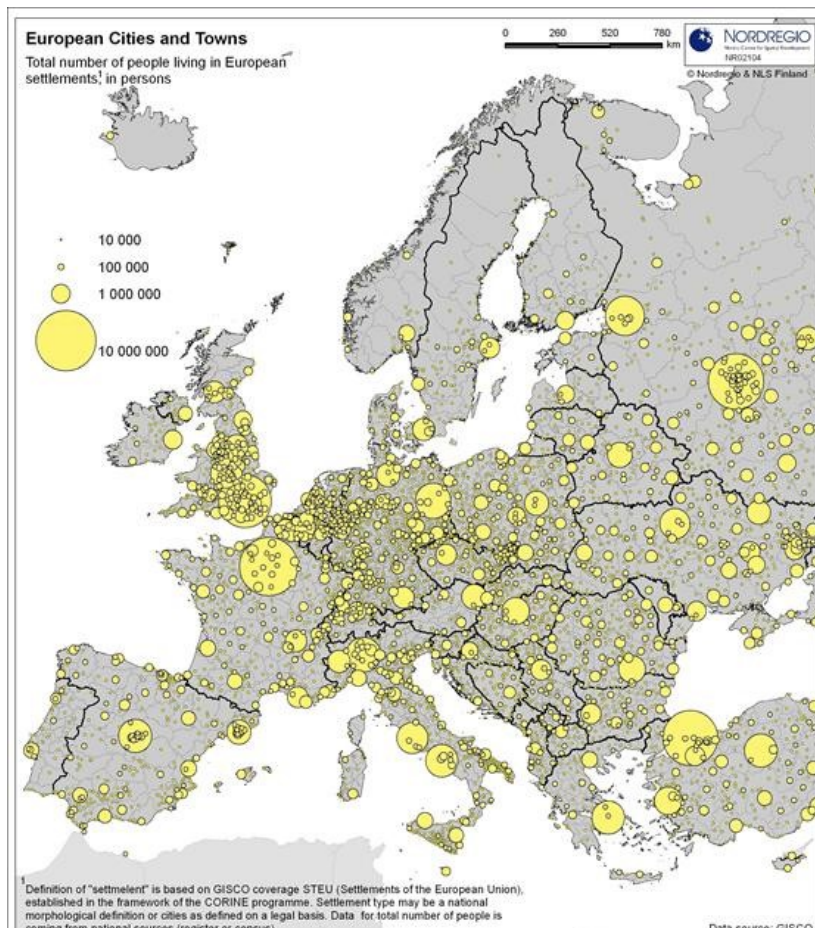
Έτσι, για την παραγωγή τροφής και άλλων αγαθών, οι ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται είναι δυσανάλογα μεγάλες σε σχέση με την ποσότητα προϊόντος που παράγεται. Το φαινόμενο περιγράφεται μέσα από τον δείκτη “υδατικού αποτυπώματος” (water footprint) (Hoekstra, 2002), που αντιπροσωπεύει τον συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιείται για να παραχθούν αγαθά και υπηρεσίες που καταναλώνονται από ένα άτομο. Η Εικόνα 5 καταγράφει το αποτύπωμα νερού για διάφορες χώρες, όπου βλέπουμε πως η επίδοση της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα χαμηλή.



Εικόνα 5 Υδατικό αποτύπωμα ανά κάτοικο ανά έτος σε επιλεγμένες χώρες (Οδηγός βιώσιμης διαχείρισης και εξοικονόμησης νερού, Τράπεζα Πειραιώς 2008)

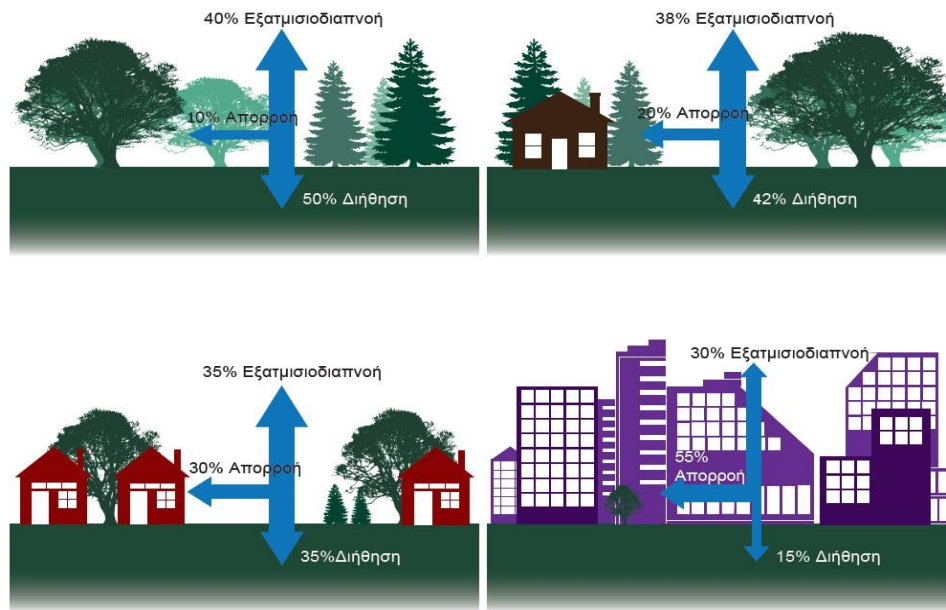
Έτσι λοιπόν, κρίνεται απαραίτητη η βελτιστοποίηση της διαχείρισης των αποθεμάτων νερού μιας και η ομοιόμορφη κατανομή τους σε όλο τον πλανήτη μοιάζει αδύνατη. Για τον λόγο αυτό, τα κράτη έχουν προχωρήσει στην ίδρυση φορέων και οργανώσεων, που απαρτίζονται από επιστήμονες και επαγγελματίες διαφόρων τομέων όπως μηχανικούς, οικονομολόγους, περιβαλλοντολόγους, με σκοπό να αναδείξουν την επιτακτική ανάγκη για καθαρό νερό αλλά και τους κινδύνους που μπορεί να προκύψουν αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα. Η λύση φαίνεται πως βρίσκεται στην ολιστική εξέταση του ζητήματος, μέσω της ανάπτυξης τεχνικών οι οποίες θα στοχεύουν σε μια συνολική προσέγγιση της διαχείρισης των υδάτων με συμμετοχή τόσο του τεχνικού αλλά και του κοινωνικού κλάδου.

Οι αστικές πλημμύρες είναι το αποτέλεσμα της βροχόπτωσης που απορρέει από μια περιοχή, με καταστροφικές συνέπειες για την ανθρώπινη ζωή και τις υποδομές. Αυτό συμβαίνει, εξαιτίας της αστικοποίησης που περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις διαπερατές επιφάνειες, και αυξάνει τις αδιαπέρατες. Χαρακτηριστικά, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) αναφέρει πως οι αστικές περιοχές πολλαπλασιάζονται, οι πράσινες εκτάσεις μειώνονται και ο αριθμός των ατόμων που κατοικούν σε πόλεις συνεχώς αυξάνεται (Εικόνα 6), κάνοντας την Ευρώπη μία από τις ηπείρους με το μεγαλύτερο ποσοστό αστικοποίησης κοντά στο 75% (The World Bank, 2018, Ramos et al., 2013), ενώ υπολογίζεται πως στο τέλος του 21ου αιώνα το ποσοστό αυτό θα φτάσει το 90% (European Investment Bank, 2018), οδηγώντας σε ολοένα και περισσότερα πλημμυρικά φαινόμενα κάθε χρόνο.



Εικόνα 6 Αριθμός ανθρώπων ανά περιοχή στην Ε.Ε. (European Investment Bank, 2018)

Η απορροή των ομβρίων υδάτων είναι η βροχή ή η τήξη της χιονόπτωσης και του χαλαζιού που διασχίζει την επιφάνεια της γης και καταλήγει μέσω ρεμάτων – ποταμών σε λίμνες ή θάλασσες. Σε φυσικές περιοχές, από το νερό που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά (ο συνδυασμός των οποίων ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή), ένα άλλο μέρος διηθείται εντός του εδάφους και τέλος ένα τρίτο μέρος απορρέει επιφανειακά. Στις αστικοποιημένες περιοχές με πιο αδιαπέραστες επιφάνειες, δημιουργούνται μεγαλύτεροι όγκοι ομβρίων υδάτων που απορρέουν επιφανειακά σε σχέση με τους όγκους διήθησης και εξατμισοδιαπνοής (Εικόνα 7).



Εικόνα 7 Ποσοστά επιφανειακής απορροής, διήθησης και εξατμισιοδιαπνοής νερού συναρτήσει της αστικοποίησης της περιοχής (Σκαρλάτος, Α.Π.Θ., 2020)

Η αστικοποίηση, με την εκτεταμένη αύξηση των αδιαπέρατων επιφανειών, μπορεί να επιφέρει ανεπιθύμητες αλλαγές στα υδρολογικά δεδομένα, στα υδραυλικά και στα φυσικά χαρακτηριστικά των υδατορεμάτων, αλλά και στα υδατικά και χερσαία οικοσυστήματα, στη δομή των ενδιαιτημάτων και τη βιοποικιλότητα, όπως και μεταβολές στην ποιότητα του νερού των υδάτινων σωμάτων. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη αδιαπέρατων επιφανειών προκαλεί ελάττωση της ποσότητας του νερού της βροχής που διεισδύει στο έδαφος και αύξηση της ποσότητας του νερού που απορρέει. Η απορροή που δημιουργείται, συμπαρασύρει τους ρύπους της ατμόσφαιρας και άλλους ρύπους, που έχουν επικαθίσει στις αδιαπέρατες επιφάνειες του αστικού περιβάλλοντος (οδοί, δρόμοι, χώροι στάθμευσης, στέγες). Το είδος αυτών των ρύπων είναι σε πολλές περιπτώσεις παρόμοιο ή και μεγαλύτερο από αυτό των αποβλήτων των δικτύων αποχέτευσης. Οι συνέπειες από τις διαδικασίες αυτές δεν είναι μόνο η μεταβολή των υδρολογικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής, αλλά και η μεταβολή των χημικών και των βιολογικών χαρακτηριστικών των υδάτινων αποδεκτών, στους οποίους καταλήγουν οι αστικές απορροές.

Η μετατροπή του φυσικού υδρολογικού καθεστώτος από μια κατάσταση στην οποία κυριαρχεί η διήθηση σε μια κατάσταση που κυριαρχεί η επιφανειακή απορροή που προέρχεται από μια αστικοποιημένη λεκάνη απορροής μπορεί έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υδρολογία των ποταμών και των ρεμάτων. Στις επιπτώσεις αυτές περιλαμβάνονται τα εξής:

- Μεγαλύτερος όγκος απορροών από τις αδιαπέρατες επιφάνειες.
- Μεγαλύτερη συχνότητα πλημμυρικών φαινομένων.
- Λιγότερη χρονική υστέρηση των βροχοπτώσεων, της απορροής και της ανταπόκρισης της ροής των υδατορεμάτων.
- Μεγαλύτερη εκροή αιχμής για ένα δεδομένου μεγέθους περιστατικό βροχόπτωσης.

- Μεγαλύτερη διάρκεια των υψηλών εκροών κατά τη διάρκεια των περιστατικών βροχόπτωσης.
- Μείωση της βασικής ροής σε ξηρές και υγρές περιόδους.
- Μείωση εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων.
- Μεγαλύτερη διακύμανση της στάθμης των υδάτων των υγροτόπων.

Η διαχείριση των ομβρίων υδάτων των αστικών περιοχών, πραγματοποιείται μέσω δικτύων αποχέτευσης (χωριστικά ή παντοροϊκά). Τα τελευταία χρόνια, οι αστικές περιοχές (βιομηχανικές και οικιστικές) υιοθέτησαν το χωριστικό σύστημα αποχέτευσης, του οποίου ο στόχος είναι η απομάκρυνση των όμβριων από μια αστική επιφάνεια και η παροχέτευσή τους σε έναν κατάλληλο υδάτινο αποδέκτη με έναν ασφαλή και οικονομικό τρόπο, χωρίς όμως επεξεργασία.

2.3 Νέες τεχνολογίες διαχείρισης ομβρίων και αστικής ανάπτυξης

2.3.1 Βασικές έννοιες

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 υδατορεμάτων, γνωστή και ως «urban stream syndrome», η οποία περιγράφεται από ένα σταθερό μοτίβου υδρολογικών, φυσικών και βιολογικών συνθηκών που εμφανίζεται στα κατάντη υδατορέματα αστικών περιοχών. Συγκρινόμενα με τα ποτάμια που βρίσκονται κατάντη φυσικών λεκανών απορροής, τα αστικά υδατορέματα 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. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, είναι αρκετά δύσκολη η εφαρμογή αποχετευτικών συστημάτων, λόγω της λειψυδρίας και έλλειψης οικονομικών πόρων, ενώ στις ανεπτυγμένες χώρες, ολοένα και αυξάνονται τα αποκεντρωμένα συστήματα, όπως τα συστήματα με επαναχρησιμοποίηση νερού, λόγω των σημαντικών πιέσεων στο ζήτημα των φυσικών πόρων. Και τα δύο αυτά παραδείγματα εντάσσονται σε μια λογική εξορθολογισμού της διαχείρισης των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

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). Αυτό οδήγησε στην δημιουργία μιας καινούργιας μεθόδου αποκεντρωμένης διαχείρισης με μικρότερα και αποδοτικότερα συστήματα σε επίπεδο οικίας, αποφορτίζοντας έτσι τα κεντρικά συστήματα από τις μεγάλες ποσότητες. Οι

πρακτικές αυτής της μεθόδου έχουν διττό ρόλο, δηλαδή επιτυγχάνουν τόσο την μείωση των παροχών αιχμής, με συλλογή μεγάλου μέρους του βρόχινου νερού για την κάλυψη αναγκών όπως το πότισμα, τα καζανάκια της τουαλέτας, το πλύσιμο των αυτοκινήτων, αλλά ταυτόχρονα οδηγούν σε αναβάθμιση του αστικού και περιαστικού τοπίου. Αυτή η παγκόσμια τάση παρατηρήθηκε σε πολλές χώρες, με παρόμοιες τεχνολογίες και οδηγίες εφαρμογής, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μίας νέας προηγμένης ομάδας ορολογιών.

Με τον όρο «Έλεγχος στην πηγή» εννοούμε όλες τις μορφές της αποχέτευσης, που περιορίζουν τις απορροές των ομβρίων στην πηγή ή κοντά σε αυτή. Οι πρακτικές ελέγχου πηγής έχουν να κάνουν με την μείωση της ποσότητας της απορροής και τον περιορισμό των ρύπων στην πηγή τους.

Best Management Practices (BMPs)

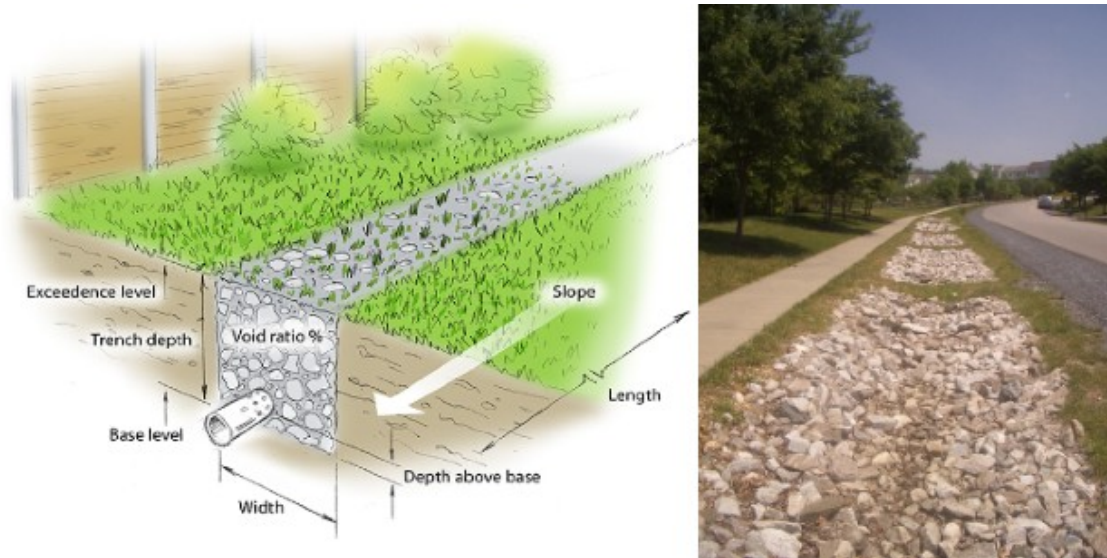
Σύμφωνα με την EPA (1999) «**Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης**» (**Best Management Practices – BMP**) είναι μια τεχνική, ένα μέτρο ή ένα δομικό έργο, που χρησιμοποιείται για δεδομένες συνθήκες για τη διαχείριση της ποσότητας και την βελτίωση της ποιότητας των απορροών ομβρίων κατά τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Η αμερικανική νομοθεσία U.S. Clean Water Act (1972) ξεκίνησε να τον χρησιμοποιεί ως ένα όρο που αναφέρεται σε όλα τις κατασκευαστικές και μη τεχνικές για την αποφυγή της ρύπανσης των υδάτων και την διαχείριση της επεξεργασίας των λυμάτων. Βέβαια, ένας τόσο αφηρημένος και περιορισμένος όρος ήταν θέμα χρόνου να διευρυνθεί, κάτι που συνέβη στο αμερικανικό πρόγραμμα NPDES Phase II regulations (2011), όπου τα BMPs προσδιορίστηκαν ως οι τεχνικές, οι ενέργειες και οι κατασκευές για τον έλεγχο της απορροής των βροχοπτώσεων και την απομείωση ρυπαντικού φορτίου, με κατασκευές όπως τα υδατοπερατά πεζοδρόμια, λίμνες συγκράτησης και με την μέθοδο της διήθησης. Γενικά, υπάρχουν δύο τύποι BMPs που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από τις απορροές ομβρίων των αστικών απορροών:

- **Οι δομικές BMPs (structural)**, οι οποίες αφορούν τη φυσική κατασκευή ενός συστήματος διαχείρισης αστικών απορροών.
- **Οι μη-δομικές BMPs (non-structural)**, οι οποίες αφορούν την εισαγωγή μιας νέας πρακτικής διαχείρισης ή την τροποποίηση μιας υπάρχουσας.

Σκοπός των δομικών BMPs είναι η παγίδευση των απορροών με φυσικό τρόπο μέχρις ότου οι ρύποι να κατακαθίσουν ή να φιλτραριστούν από τις υφιστάμενες εδαφικές διαστρώσεις. Οι βασικοί μηχανισμοί αφαίρεσης των ρύπων με τις τεχνικές αυτές είναι η καθίζηση με βαρύτητα, η διήθηση των διαλυτών θρεπτικών ουσιών διαμέσου του εδάφους ή με ειδικά φίλτρα ή με χημικές και βιολογικές διεργασίες. Γενικά, οι δομικές BMPs μπορούν να θεωρηθούν ως τα μέτρα που επιβραδύνουν, κατακρατούν ή απορροφούν τους ρύπους που παρασύρονται και μεταφέρονται με τις απορροές ομβρίων. Έτσι μπορούν να διαχωριστούν ως (EPA):

- **Σημειακές BMPs:** Αφορά πρακτικές συλλογής της απορροής σε ένα συγκεκριμένο σημείο με συνδυασμό διήθησης, εξάτμισης (λεκάνες βιοκατακράτησης, υγροβιότοποι).
- **Γραμμικές BMPs:** Αφορά στενές τάφρους που μπορούν να φιλτράρουν την απορροή (αμμόφιλτρα, διηθητική τάφρος) (Εικόνα 8).

- **Επιφανειακές BMPs:** Αφορά πρακτικές διαχείρισης μεγάλων αδιαπέρατων επιφανειών (πράσινες οροφές, υδατοπερατά πεζοδρόμια).



Εικόνα 8 Διηθητικές τάφροι σε αναπαράσταση (αριστερά, Innovyze) και σε πραγματικό έργο (δεξιά, Sustainable Water Management), 2007)

[Nature-Based Solutions \(NBS\)](#)

Επιπρόσθετα, αρκετοί ερευνητές ξεκίνησαν να επισημαίνουν από το 2002 και έπειτα τον όρο «**Λύσεις Βασισμένες στο φυσικό περιβάλλον**» ή **Nature-Based Solutions (NBS)**, σαν ένα «σχέδιο ομπρέλα» το οποίο θα περικλείει άλλες θεσμοθετημένες έννοιες, όπως τον όρο «Μπλέ και Πράσινες Κατασκευές» ή Blue-Green Solutions αλλά και την βιώσιμη διαχείριση, με στόχο να προωθήσει το φυσικό περιβάλλον σαν ένα μέσο που μπορεί να προσφέρει λύσεις στην κλιματική αλλαγή και σε όλες τις προκλήσεις που θα έρχονταν από την προσαρμογή σε αυτήν σε κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Τέτοιες προκλήσεις μπορεί να είναι η προστασία των υδάτων και η ρύπανση τους, η απώλεια της βιοποικιλότητας, η προστασία των ακτογραμμών και της πανίδας τους, η διαχείριση κινδύνου καταστροφών αλλά και οι επιπτώσεις τους στην οικονομία, την κοινωνική σταθερότητα και την υγεία. Στόχος είναι η υιοθέτηση λύσεων που να προωθήσουν την φύση και τις φυσικές διεργασίες, ώστε να επιστρέψουν στις πόλεις (European Commission, 2019). Η σημασία του όρου φάνηκε μετέπειτα όταν οργανισμοί όπως η Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) αναζήτησαν λύσεις που να συνδέονται με τα διάφορα οικοσυστήματα αντί να βασιστούν στις συνήθεις συμβατικές τεχνικές λύσεις, γεγονός που οδήγησε την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο να εντάξει τα NBS στο πρόγραμμα "Ορίζοντας 2020" (Horizon 2020) που είναι το χρηματοδοτικό πλαίσιο της Ε.Ε. για την Έρευνα και την Καινοτομία για την περίοδο 2014-2020.

Low Impact Design (LID)

Την ίδια στιγμή στην Βόρεια Αμερική και στην Νέα Ζηλανδία ο όρος «**Αστική Ανάπτυξη Ήπιων Επιπτώσεων**», γνωστός ως **Low Impact Development (LID)** αρχίζει να αναπτύσσεται για να περιγράψει όλα αυτές τις παρεμβάσεις που σκοπεύουν να ελαχιστοποιήσουν το κόστος από την διαχείριση των πλημμυρικών απορροών με μία φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση, αφήνοντας στην άκρη τα μεγάλα και κοστοβόρα αποχετευτικά έργα (Barlow et al., 1977). 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, πού 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). Η «αστική ανάπτυξη ήπιων επιπτώσεων» χρησιμοποιεί την χωροταξία και σχεδιαστικές τεχνικές και θέτει σαν στόχο την διατήρηση του υδρολογικού καθεστώτος όπως ήταν πριν την αστικοποίηση. Με τη χρήση ολοκληρωμένων δομών κατακράτησης νερού σε περιοχές μικρής κλίμακας (Εικόνα 9), επιτυγχάνεται η διατήρηση των διεργασιών διήθησης, αποθήκευσης, ανατροφοδότησης του υπόγειου υδροφορέα και διεργασιών επιφανειακής απορροής (όγκος, συχνότητα).



Εικόνα 9 Υγροβιότοποι σε αναπαράσταση (αριστερά, Susdrain) και σε πραγματικό έργο (δεξιά, Gardens by Water Gems, 2017)

Integrated Urban Water Management (IUWM)

Στις αρχές του 1990 άρχισε να χρησιμοποιείται ο όρος «**Ολοκληρωμένη διαχείριση αστικού νερού**» ή **Integrated Urban Water Management (IUWM)**, και η θεωρία του είναι ευρεία και βασίζεται στην διαχείριση των αποθεμάτων νερού, του υπόγειου νερού, των λυμάτων και του βρόχινου νερού αλληλεπιδρώντας με τους υπεύθυνους φορείς (Fletcher et al. 2014). Οι βασικές αρχές της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης του Αστικού Νερού (IUWM) συνοψίζονται ως εξής (Mitchell, 2006):

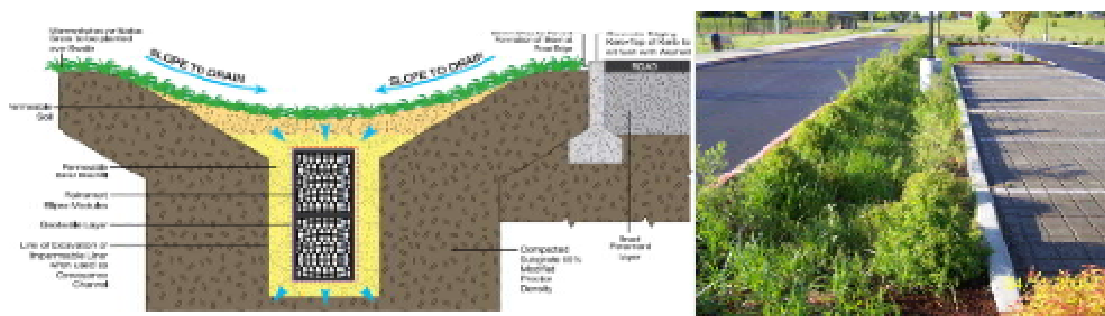
- Λαμβάνονται υπόψη όλες οι διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου, επιφανειακές και υπόγειες, φυσικές και τεχνητές, θεωρώντας ότι αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα.

- Εξετάζονται όλες οι ανάγκες για νερό, τόσο οι ανθρωπογενείς όσο και οι οικολογικές.
- Δίνεται έμφαση στις τοπικές ιδιαιτερότητες, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς, πολιτικούς και πολιτιστικούς παράγοντες.
- Στις διαδικασίες σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων λαμβάνονται υπόψη όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς.
- Γίνεται προσπάθεια να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα, με σκοπό την ισορροπία των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών αναγκών, βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

Water Sensitive Urban Design (WSUD)

Άλλοι ερευνητές επικεντρώθηκαν σε λιγότερο εκτεταμένους όρους με στόχο να συμπεριλάβουν την διαχείριση της απορροής σε ένα ευρύτερο πλάνο εξυγίανσης του αστικού τοπίου. Για παράδειγμα, στην Αυστραλία άρχισε να χρησιμοποιείται ο όρος «**Υδροκεντρικός Αστικός Σχεδιασμός**» ή αλλιώς **Water Sensitive Urban Design (WSUD)** που αναφέρεται σε έννοιες όπως αστικός σχεδιασμός και ανάπλαση, προστασία της ποιότητας του νερού, διαχείριση του κύκλου του νερού με απομείωση των πλημμυρικών αιχμών και ελαχιστοποίηση του κόστους αυτών, προσπαθώντας ταυτόχρονα να προσελκύσει επαγγελματίες και επιστήμονες από τον τεχνικό χώρο αλλά και τον χώρο των κοινωνικών επιστημών.

Ο «Υδροκεντρικός Αστικός Σχεδιασμός» είναι μια προσέγγιση εδαφικής χωροταξίας και μηχανικού σχεδιασμού που ενσωματώνει τον κύκλο του αστικού νερού, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης όμβριων υδάτων, υπόγειων υδάτων και λυμάτων και παροχής νερού, στον αστικό σχεδιασμό για την ελαχιστοποίηση της συσσώρευσης ρύπων λόγω των αστικών ομβρίων. Οι περισσότερες τεχνολογίες που προτείνει έχουν την μορφή λεκανών ή λιμνών, ορισμένες από τις οποίες είναι οι λεκάνες καθίζησης, οι τεχνητοί υγροβιότοποι, οι δεξαμενές αποθήκευσης, οι λεκάνες βιοκατακράτησης (Εικόνα 10) κλπ. (Fletcher et al., 2014).



Εικόνα 10 Λεκάνες βιοκατακράτησης σε αναπαράσταση (αριστερά, Rainsmart Solutions) και σε πραγματικό έργο (δεξιά, Oregon State University, 2018)

2.3.2 Πράσινες Υποδομές (Blue-Green Infrastructure)

Η έννοια «**πράσινες υποδομές**» ή **Green Infrastructure** έκανε την εμφάνισή της στις Η.Π.Α. το 1990 και φαίνεται να βασίζεται σε επιστήμες όπως η αρχιτεκτονική και η οικολογία

τοπίου, πηγαίνοντας έτσι ένα βήμα παραπέρα από την απλή διαχείριση της απορροής. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ο όρος «Μπλε και Πράσινες Κατασκευές» ή **Blue-Green Infrastructures** αναφέρεται σε ένα στρατηγικά οργανωμένο και σχεδιασμένο δίκτυο από φυσικές και τεχνητές μπλε και πράσινες κατασκευές, όπως τα αστικά πάρκα, οι γεωργικές περιοχές, οι υδροβιότοποι, τα ποτάμια και οι δασικές εκτάσεις που στόχο έχουν να υπηρετήσουν τα οικοσυστήματα. Στην πορεία, η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (USEPA, 2012) εισήγαγε τον όρο και στην υποστήριξη της διαχείρισης των ομβρίων, ενώ σήμερα χρησιμοποιείται στο πλαίσιο άλλων πιο διευρυμένων θεωριών όπως BMPs, LID (Struck et al., 2010). Οι «πράσινες κατασκευές» μπορούν να περιλαμβάνουν προστατευόμενες δασικές περιοχές, πάρκα και υδατοπερατά πεζοδρόμια (Εικόνα 11), ενώ οι «μπλε κατασκευές» περιλαμβάνουν λίμνες, ποτάμια αλλά και τεχνητά κανάλια, δεξαμενές νερού και λεκάνες συγκράτησης.

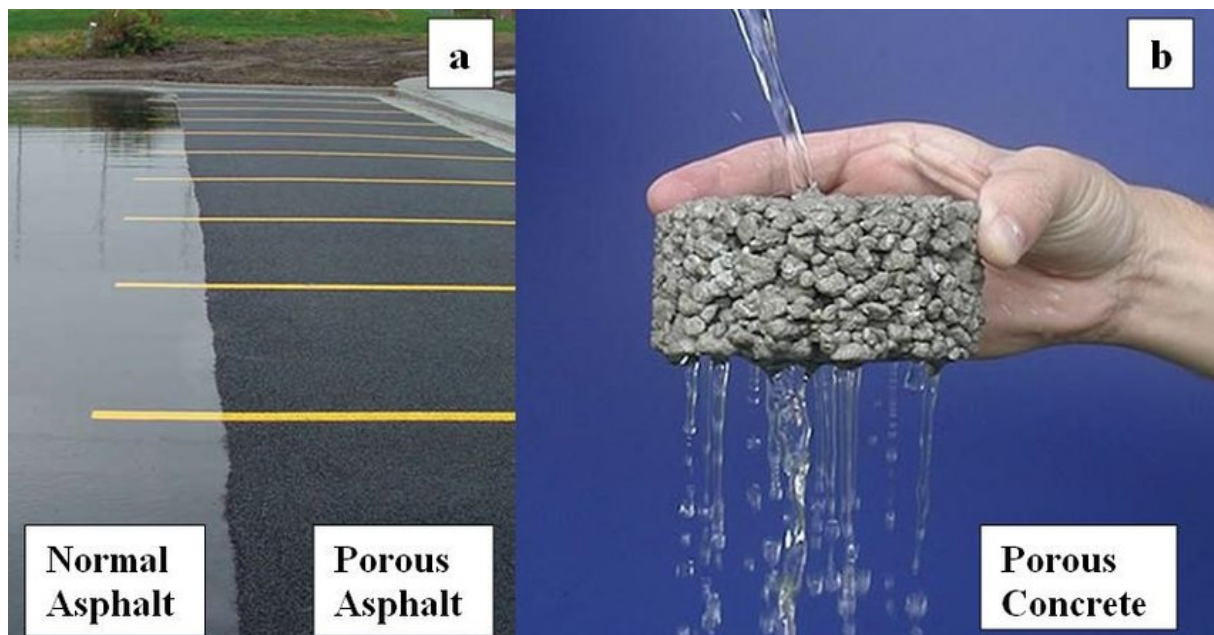


Εικόνα 11 Υδατοπερατά πεζοδρόμια σε αναπαράσταση (αριστερά, Smith D., 2006) και σε πραγματικό έργο (δεξιά, Ephenry ecocenter)

Sustainable Drainage Systems (SuDS)

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, στα τέλη του 1980, άρχισαν να γίνονται αλλαγές στο τρόπο διαχείρισης των πλημμυρικών απορροών και το 1992 εκδόθηκαν οι πρώτες οδηγίες για τις νέες τεχνικές προσεγγίσεις (CIRIA, 2001). Μέσα στην δεκαετία του 1990, η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών λύσεων αντιμετώπισης των μεγάλων απορροών της βροχής έγινε ταχύτατα αντιληπτή στην Σκωτία, πράγμα που ώθησε την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος της Σκωτίας στο να ασκήσει πιέσεις σε όλο το Ηνωμένο Βασίλειο για την υιοθέτηση «Βέλτιστων Πρακτικών Διαχείρισης» (Best Management Practices – BMPs). Το μοντέλο διαχείρισης απορροής γνωστό ως «**Ηπια Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων**» ή **Sustainable Drainage Systems (SuDS)** φαίνεται να προτάθηκε για πρώτη φορά από το Jim Conlin το 1997 στην προσπάθειά του να δώσει οδηγίες και επισημοποιήθηκε σαν ένα μεγάλης σημασίας πακέτο οδηγιών το 2000 (CIRIA, 2000). Αποτελείται από ένα εύρος τεχνολογιών και ενεργειών που χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση της απορροής με στόχο την βιωσιμότητα των παρεμβάσεων και λαμβάνοντας υπόψη και παράγοντες που αφορούν το κοινωνικό σύνολο, με στόχο να επαναφέρουν το φυσικό περιβάλλον, όπως ήταν πριν την αστικοποίηση. Κάποιες από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί είναι, τα φυτεμένα δώματα, η πορώδης άσφαλτος (porous asphalt) (Εικόνα 12), οι συσκευές διήθησης, οι δεξαμενές καθίζησης (sedimentation tank), οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα (filter strips) κλπ. Άλλοι επισημαίνουν την σημασία των λιμνών συγκράτησης για την αποθήκευση της απορροής της βροχής και την τροφοδότησή της σε μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς,

για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παράγοντας ανανεώσιμη ενέργεια και συμβάλλοντας στην ολοκληρωμένη διασύνδεση νερού και ενέργειας (Ramos H.M. et al, 2013).

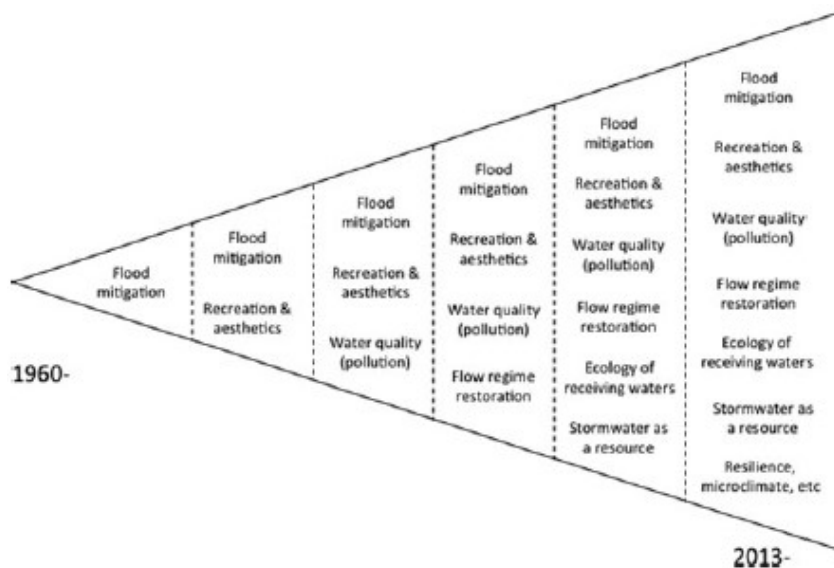


Εικόνα 12 Πορώδης άσφαλτος και σύγκριση με συμβατική άσφαλτο (Lucke T. et al, 2013)

Σημαντική επίσης είναι και η έννοια της πλημμυρικότητας (floodability) (Holling, 1973) για τα «Ήπια Συστήματα Διαχείρισης Ομβρίων». Είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε την ικανότητα των πόλεων να ανακάμπτουν ύστερα από ένα γεγονός πλημμύρας και να αναπτύσσουν συστήματα που βοηθούν στην άμεση αντιμετώπισή τους. Αυτό ονομάζεται ανθεκτικότητα (flood resilience). Ο όρος πλημμυρικότητα αναφέρεται στην ικανότητα μιας πόλης να αναγνωρίζει, να προσαρμόζεται, να μαθαίνει από τα φαινόμενα πλημμύρας έτσι ώστε να έχει έπειτα μεγαλύτερη αντοχή σε τέτοια φαινόμενα και να μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί σαν κοινωνικό σύνολο κατά την διάρκεια εξέλιξης φαινομένων πλημμύρας στο μέλλον (La Loggia G. et al, 2020). Υπάρχουν δύο σημαντικές διαφορές μεταξύ αυτών των εννοιών. Αρχικά, τα συστήματα με υψηλή πλημμυρικότητα μπορούν να λειτουργούν σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο κατά την διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων, ενώ τα συστήματα με υψηλή ανθεκτικότητα μπορούν να αντέξουν μια μερική ή ολική διακοπή λειτουργίας, θεωρώντας πως ο ρυθμός ανάκαμψης του συστήματος μετέπειτα είναι αρκετά γρήγορος για να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Από την άλλη, με το πέρας μιας πλημμύρας ένα σύστημα που έχει πλημμυρικότητα μπορεί να μην ανακάμψει πλήρως στην αρχική του κατάσταση, σε αντίθεση με ένα σύστημα υψηλής ανθεκτικότητας, αλλά μπορεί να εξελιχθεί σε μια νέα μορφή που προσαρμόζεται καλύτερα στην πλημμύρα (Aven and Ren, 2009).

Τέλος επισημαίνεται πως η ανάπτυξη συστημάτων πρόληψης και ενημέρωσης μπορούν να αποτρέψουν τις καταστροφικές συνέπειες μια πλημμύρας. Έτσι, με την συνεχή ενημέρωση από τα κοινωνικά δίκτυα, οι πολίτες μπορούν να αποκτήσουν πληροφορίες που θα ενισχύσουν την αυτοπεποίθησή τους σε θέματα αντιμετώπισης πλημμυρών, και θα μειώσουν τον χρόνο υστέρησης στην αντίδρασή τους σε κάποιο μελλοντικό φαινόμενο (Neville and Coats, 2009).

Ο τομέας της αστικής υδρολογίας έχει βιώσει μια σημαντική ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες, ξεκινώντας από παρεμβάσεις και τεχνολογίες που στοχεύουν στην διαχείριση της απορροής, στην προστασία από την ρύπανση των υδάτων και την επεξεργασία των λυμάτων (LID, Suds, BMPs) και πηγαίνοντας σε μια ευρύτερη προσέγγιση όπου περιβαλλοντικοί, υγειονομικοί, κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες συμπεριλαμβάνονται (WSUD, NbS, Blue-Green Infrastructure), με αλληλεπίδραση πολλών ενδιαφερόμενων μερών από πολλές ειδικότητες αλλά και την κοινωνία γενικότερα (Εικόνα 13).



Εικόνα 13 Η εξέλιξη της διαχείρισης της αστικής απορροής στο πέρασμα του χρόνου (Fletcher et al., 2014)

Green Roof

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην τεχνολογία των πράσινων στεγών ή φυτεμένων δωματίων (Green Roof) όπως αλλιώς ονομάζονται, καθώς πρόκειται για μια συνηθισμένη πρακτική που υλοποιείται σε πολλά έργα και είναι και η βασική παρέμβαση που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως περιγράφεται και αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 5.

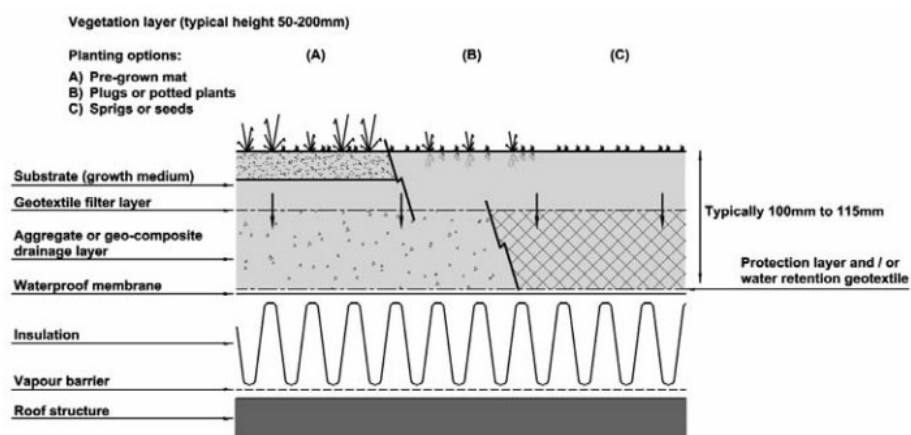
Οι πράσινες στέγες ή φυτεμένα δώματα ή ταρατσόκηποι είναι συστήματα που καλύπτουν τις ταράτσες των κτηρίων με βλάστηση (Εικόνα 14). Απλώνονται πάνω σε ένα αποστραγγιστικό υπόστρωμα, ενώ διαθέτουν και άλλα επίπεδα που παρέχουν στεγανότητα και θερμομόνωση (Εικόνα 16). Ανήκουν στην τεχνολογία των «Ηπιων Συστημάτων Διαχείρισης Ομβρίων» ή Sustainable Drainage Systems (SuDS) και έχουν σχεδιαστεί για να αναχαιτίζουν και να συγκρατούν τη βροχόπτωση, να επιτυγχάνουν μείωση του όγκου της βροχής και εξασθένιση των ακραίων απορροών (CIRIA, 2007). Άλλο ένα σημαντικό όφελος από τα φυτεμένα δώματα είναι η συμβολή του στην αντιμετώπιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας, με την θερμοκρασία τους να κυμαίνεται έως και 3 °C λιγότερους από ταράτσες με επάλειψη με πίσσα.



Εικόνα 14 Πράσινες στέγες σε κτήρια στην Στουτγάρδη (Constanzo V., 2016)

Η τυπική δομή της μιας πράσινης στέγης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 15, περιλαμβάνει τα εξής στρώματα (από το χαμηλότερο προς το ψηλότερο) (egreen):

- Κατασκευή για στήριξη των επιπλέον φορτίων της στέγης.
- Θερμομονωτική μεμβράνη η θερμομονωτικό στρώμα και μονωτική μεμβράνη στέγης
- Μεμβράνη ελέγχου ριζών
- Υπόστρωμα συγκράτησης υγρασίας
- Αποστραγγιστικό σύστημα
- Διηθητικό φύλλο
- Μηχανικό υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών
- Φυτοκάλυψη



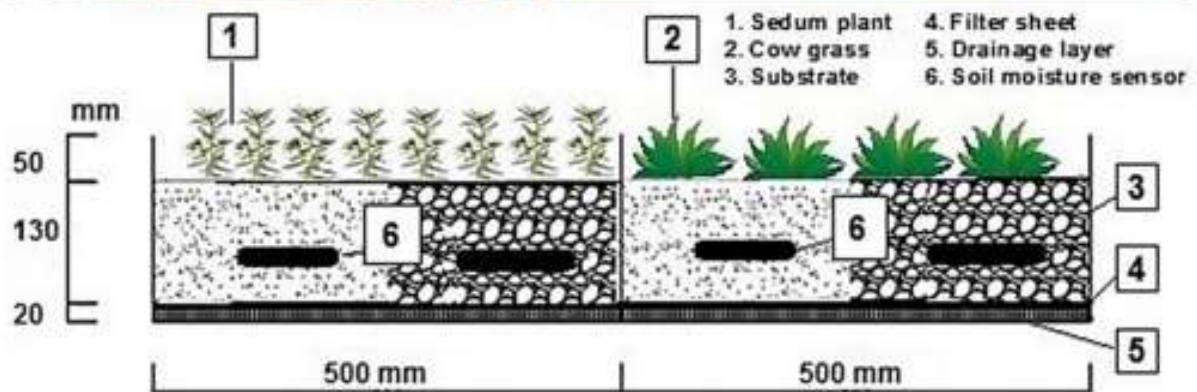
Εικόνα 15 Στρώσεις μιας τυπικής πράσινης στέγης (CIRIA, 2007)

Υπάρχουν 3 είδη φυτεμένων δωμάτων (CIRIA, 2007):

- **Εκτατικού τύπου:** Αυτό το είδος ταρατσόκηπου καλύπτει όλη την στέγη με φυτά χαμηλής ανάπτυξης που δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις σε συντήρηση. Το εδαφικό υπόστρωμά τους έχει πάχος από 25 mm έως 125 mm, όπου συνήθως αναπτύσσονται χαμηλά φυτά με αντοχή στην ξηρασία, όπως βρύα, παχύφυτα και βότανα. Μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και υπό κλίση, ενώ είναι ελαφριά και έχουν χαμηλό κόστος.
- **Εντατικού τύπου:** Ο εντατικού τύπου ταρατσόκηπος αποτελείται από φυτά και δέντρα τα οποία συνήθως είναι προσβάσιμα. Το υπόστρωμα ανάπτυξης έχει πάχος από 20 cm έως 122 cm. Φέρουν πολύ μεγαλύτερα φορτία και απαιτούν πολύ μεγαλύτερη συντήρηση. Επίσης, μπορεί να διαθέτουν αποθηκευτικό χώρο για ανατροφοδότηση μέσω βρόχινου νερού.
- **Ημιεντατικού τύπου:** Αποτελεί ένα υβρίδιο του εντατικού και του εκτατικού τύπου με σκοπό να γεφυρωθεί το χάσμα που υπάρχει μεταξύ τους. Αυτός ο τύπος φυτεμένου δώματος καλύπτεται από εδαφοκαλυπτικά φυτά και γκαζόν και το υπόστρωμα ανάπτυξης βλάστησης έχει πάχος 10 cm έως 25 cm. Εδώ απαιτείται συχνή συντήρηση, πότισμα και κούρεμα αλλά δεν προσθέτουν μεγάλο φορτίο στο κτήριο και είναι φθηνότερα στην κατασκευή τους από τα εντατικού τύπου.

Για την σωστή επιλογή του κατάλληλου τύπου πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το κόστος, την διαθέσιμη έκταση αλλά και την τοποθεσία που θα κατασκευαστεί. Μερικά από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των φυτεμένων δωμάτων είναι:

- Βελτίωση θερμομόνωσης κτιρίου
- Μείωση απορροής υδάτων
- Μείωση ηχορύπανσης
- Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Βελτίωση του μικροκλίματος
- Περιορισμός του φαινομένου της αστικής νησίδας (Urban heat island)
- Αισθητική αναβάθμιση του αστικού τοπίου
- Αναβάθμιση της αξίας των ακινήτων



Εικόνα 16 Πειραματική διάταξη φυτεμένου δώματος από γρασίδι (Chow M.F et al, 2021)

Οι πράσινες στέγες είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στην Αμερική, ενώ στην Ευρώπη η μέθοδος δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Στην Γερμανία το 10% των στεγών είναι φυτεμένες, ενώ σε χώρες όπως η Ελβετία, η Ολλανδία, η Ιταλία, η Αυστρία, η Ουγγαρία, η Σουηδία και η Αγγλία έχουν αναπτυχθεί οργανισμοί για την προώθηση των φυτεμένων δωμάτων (Εικόνα 17). Η τεχνολογία τους θεωρείται μια αποτελεσματική οικολογική προσέγγιση για την διαχείριση του αστικού σχεδιασμού.



Εικόνα 17 Φυτεμένα δώματα σε κτήριο στην Αγγλία (Skelton Lake Motorway Service Area project in Leeds) (Geogreen, 2021)

Στην Ελλάδα η ανάπτυξή τους βρίσκεται σε πολύ αρχικό στάδιο. Τα φυτεμένα δώματα στην χώρα μας δεν είναι ακόμα αρκετά διαδεδομένες κατασκευές, με αποτέλεσμα να υπάρχουν χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα ταρατσών ανεκμετάλλευτα, χωρίς ουσιαστική χρήση και οι οποίες θα μπορούσαν ύστερα από σωστή μελέτη, να μετατραπούν σε νησίδες πρασίνου και να αποτελέσουν σημαντικό ρόλο στην αναβάθμιση των πόλεων. Ωστόσο υπάρχουν ορισμένες αξιοσημείωτες περιπτώσεις κατασκευής φυτεμένων δωματίων που έγιναν τα τελευταία χρόνια και πρέπει να επισημανθούν, όπως η πράσινη στέγη της Εθνικής Βιβλιοθήκης του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (Εικόνα 18).



Εικόνα 18 Τα φυτεμένα δώματα του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (Τοριόδομι)

2.3.3 Επαναχρησιμοποίηση νερού

Μια άλλη σημαντική τεχνολογία που θα εφαρμόσουμε στην συγκεκριμένη μελέτη είναι η ανακύκλωση νερού, βρόχινου αλλά και «γκρι νερού». Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ των διαφορετικών ειδών νερού που θα εξεταστούν.

Τη σημερινή εποχή, οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων παρέχουν την δυνατότητα παραγωγής νερού σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας. Μέχρι τώρα, το επεξεργασμένο νερό από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων συνήθως καταλήγει στη θάλασσα είτε σε ποτάμια. Κάποιες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι η άρδευση αγροτικών περιοχών, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν χρησιμοποιούνται για ύδρευση, η επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία, η αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής, η αστική επαναχρησιμοποίηση (πότισμα δημοσίων πάρκων, γηπέδων, κοιμητηρίων, πλύσιμο οχημάτων, πυροπροστασία κ.λ.π.). Ακόμη, σε περιοχές περιορισμένων διαθέσιμων υδατικών πόρων είναι πιθανή η πόσιμη επαναχρησιμοποίηση, είτε άμεσα είτε έμμεσα (π.χ. μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων) (Andreadakis et al., 2003). Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη, που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και με οικονομικά οφέλη. Πρόκειται για μια ρεαλιστική επιλογή με σκοπό να καλυφθεί η ζήτηση των περιορισμένων διαθέσιμων υδατικών πόρων, να επεκταθούν οι αρδευτικές καλλιέργειες και να ικανοποιηθούν οι κανονισμοί ποιότητας του εναποτιθέμενου νερού στο περιβάλλον. Ενδεικτικό των οικονομικών οφελών είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες καλλιέργειες που αρδεύονται με επεξεργασμένα λύματα – όπως έχει παρατηρηθεί – σημειώνουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα από ό,τι εάν αρδεύονταν με πόσιμο νερό και ό,τι απαιτούν λιγότερα χημικά λιπάσματα.

Όσον αφορά τους υδατικούς πόρους, ιδιαίτερα με την επαναχρησιμοποίηση για αρδευτικούς σκοπούς, μπορούν να εξοικονομηθούν σημαντικότερες υδατικές ποσότητες (Menegaki et al., 2007). Χαρακτηριστικά, αναφέρουμε ως παράδειγμα ότι στην Κρήτη το 83% των υδατικών πόρων δεσμεύονται για αρδευτικούς σκοπούς (Tsagarakis et al., 2001). Προσοχή όμως πρέπει να δίνεται και στους διάφορους κινδύνους. Τέτοιοι είναι ο κίνδυνος για τη δημόσια υγεία από τη διάδοση μολυσματικών ασθενειών, ο κίνδυνος υπερβολικής συγκέντρωσης αζώτου σε καλλιέργειες που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση ωρίμανσης και παραγωγικές απώλειες, ο περιβαλλοντικός κίνδυνος υδατικής και εδαφικής ρύπανσης (π.χ. αλάτωση, χημική και τοξική ρύπανση) από τις υπερβολικές ποσότητες απόθεσης θρεπτικών στοιχείων και άλλων ουσιών (Menegaki et al., 2007).

Βρόχινο νερό

Η τεχνική συλλογής βρόχινου νερού (Rain Water Harvesting) με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του, είναι αρκετά διαδεδομένη από παλιά και εφαρμόζεται σε αρκετές χώρες στον κόσμο για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα λειψυδρίας αλλά και να συμβάλλει στην ανάσχεση πλημμυρών. Ουσιαστικά, πρόκειται για συστήματα που μαζεύουν το βρόχινο νερό τοπικά από μεγάλες επιφάνειες όπως στέγες, πεζοδρόμια, δώματα οι οποίες είναι σχετικά καθαρές, το αποθηκεύουν σε κάποια δεξαμενή και το χρησιμοποιούν για να ικανοποιήσουν μελλοντικές ανάγκες.

Η έννοια της ομβροσυλλογής φαίνεται να εφαρμόζεται από πολύ παλιά, ακόμα και πριν 6000 χρόνια στην Κίνα (TWDB, 2005), ενώ αρκετοί πολιτισμοί όπως της Κίνας, της Ινδίας,

της Μέσης Ανατολής αλλά και της Αρχαίας Ελλάδας φαίνεται να συνέλλεγαν το νερό της βροχής για αρδευτικές ανάγκες και άλλες. Στην αρχαία Ρώμη είχε κατασκευαστεί δίκτυο με το οποίο αξιοποιούνταν τα όμβρια ύδατα κυρίως για ύδρευση και άλλες οικιακές χρήσεις (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

Η αποτελεσματικότητα αυτών των διατάξεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την βροχόπτωση και την ποσότητα βρόχινου νερού που είναι δυνατό να συλλεχθεί. Αυτό συνδέεται με το με το εμβαδόν της επιφάνειας αποστράγγισης, με το είδος της επιφάνειας που προσπίπτει η βροχή (υλικά κατασκευής) αλλά και τις πιθανές απώλειες. Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας είναι η επιλογή της δεξαμενής αποθήκευσης, η οποία εξαρτάται από το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, την διαθέσιμη επιφάνεια απορροής και τον συντελεστή απορροής. Βέβαια, πριν την επιλογή δεξαμενής πρέπει να γίνεται μία ανάλυση σε συνάρτηση με την αυτονομία που επιτυγχάνεται για το σύστημα (Khastagir et al., 2010). Από την άλλη, σημαντική είναι και η ποιότητα του συλλεγόμενου βρόχινου νερού, κάτι που μπορεί να περιορίσει τις χρήσεις του ή να απαιτήσει επεξεργασία που θα γίνει σε αυτό πριν την χρήση του. Οι πιο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του σχετίζονται με το περιβάλλον που λαμβάνει χώρα η βροχόπτωση και τον βαθμό ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της κατάσταση της επιφάνειας συλλογής και του χώρου αποθήκευσής του.

Οι πρακτικές συλλογής ομβρίων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις χερσαίες (land-based) και αυτές που εφαρμόζονται σε οροφές (roof-based). Στην πρώτη περίπτωση η απορροή προέρχεται από μεγάλους αδιαπέρατους χώρους, όπως πεζοδρόμια, και μεταφέρεται σε δεξαμενές και λίμνες ενώ στην δεύτερη περίπτωση η συλλογή ομβρίων γίνεται από τις στέγες κτηρίων, καθιστώντας το νερό καθαρότερο από το χερσαίο. Οι διατάξεις συλλογής βρόχινου νερού είναι συνήθως απλά συστήματα που αποτελούνται κυρίως από τα εξής μέρη (TWDB, 2005):

- Επιφάνεια συλλογής βροχόπτωσης
- Υδρορροές και ρείθρα
- Αγωγοί
- Φίλτρα και εσχάρες για την απομάκρυνση ρύπων
- Δεξαμενή (υπέργεια ή υπόγεια)
- Μονάδα επεξεργασίας βρόχινου νερού
- Σύστημα διανομής του επεξεργασμένου νερού



Εικόνα 19 Σύστημα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης βρόχινου νερού σε επίπεδο οικίας (Enflow)

Οι πρακτικές συλλογής βρόχινου νερού μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά στις συμβατικές πηγές νερού. Μερικά από τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι:

- Ενίσχυση της εξοικονόμησης καθαρού πόσιμου νερού.
- Διαχείριση των ομβρίων στην πηγή από τον ιδιοκτήτη με μεγάλη αποδοτικότητα.
- Συστήματα που είναι φιλικά προς το περιβάλλον τόσο αισθητικά όσο και λειτουργικά.
- Χαμηλότερο κόστος για την παροχή νερού σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας για τέτοια συστήματα είναι ελάχιστα.

Τα τελευταία χρόνια συνεχώς αυξάνονται τα παραδείγματα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης των όμβριων υδάτων ανά τον κόσμο (Εικόνα 19). Στην Αυστραλία, λόγω της αύξησης των ξηρασιών ενθαρρύνεται η εγκατάσταση οικιακών δεξαμενών αποθήκευσης ομβρίων, στον Καναδά τα περισσότερα συστήματα βρίσκονται σε αγροτικές κατοικίες με δυσκολία πρόσβασης στα κεντρικά συστήματα ύδρευσης, ενώ η Γερμανία κατέχει ηγετική θέση με περισσότερα από 1,5 εκατομμύριο εγκατεστημένα συστήματα σε σπίτια, πλυντήρια αυτοκινήτων (Galbraith, 2012).

Μαύρο νερό

Μαύρο νερό ονομάζουμε το νερό της τουαλέτας ή αλλιώς τα αστικά λύματα. Η συγκεκριμένη εκροή αποτελεί την πιο επιβαρυνόμενη μορφή αστικών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, αζώτου και φωσφόρου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 20. Οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων παρέχουν σήμερα την δυνατότητα να παραχθεί νερό σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας. Με την επαναχρησιμοποίηση

των λυμάτων μπορεί να μειωθεί ο όγκος που καταλήγει στο αποχετευτικό σύστημα, να προστατευθεί το περιβάλλον και να εξοικονομηθούν οικονομικοί πόροι. Βέβαια, απαιτείται ένας ολοκληρωμένος και ορθολογικός σχεδιασμός για την αποφυγή των επικείμενων κινδύνων από την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων.

Μέταλλο	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)
Al (αργίλιο)	5
As (αρσενικό)	0.1
Be (βηρύλλιο)	0.1
Cd (κάδμιο)	0.01
Co (κοβάλτιο)	0.05
Cr (χρώμιο)	0.1
Cu (χαλκός)	0.2
F (φθόριο)	1.0
Fe (σίδηρος)	3.0
Li (λίθιο)	2.5
Mn (μαγγάνιο)	0.2
Mo (μολυβδαίνιο)	0.01
Ni (νικέλιο)	0.2
Pb (μόλυβδος)	0.1
Se (σελήνιο)	0.02
V (βανάδιο)	0.1
Zn (ψευδάργυρος)	2.0
Hg (υδράργυρος)	0.002
B (Βόριο)	2

Εικόνα 20 Μέγιστα όρια συγκέντρωσης μετάλλων και άλλων στοιχείων σε ανακτημένο νερό (Σχορετσανίτη, 2017)

Τα λύματα επεξεργάζονται σε εγκαταστάσεις με μια σειρά διαδικασιών, ξεκινώντας από την εσχάρωση, όπου τα μεγάλα στερεά σώματα (πλαστικά, ξύλα, κ.ά.) συγκρατούνται με σχάρες. Τα λύματα οδηγούνται σε δεξαμενές, όπου κατακάθονται τα στερεά μικρότερου μεγέθους (πρωτοβάθμια καθίζηση). Τα υπερκείμενα λύματα οδηγούνται στο βιολογικό καθαρισμό, όπου διασπάται η οργανική ύλη. Για το σκοπό αυτό τα υγρά περνάνε μέσα από μεγάλες επιφάνειες από πέτρα ή άλλο αδρανές υλικό όπου ο δυνατός αερισμός επιταχύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών (που αποσυνθέτουν την οργανική ύλη) ή τους προστίθεται λάσπη (ενεργός ιλύς) που περιέχει μικροοργανισμούς. Μετά το βιολογικό καθαρισμό τα λύματα διοχετεύονται πάλι σε δεξαμενές όπου κατακάθονται όποια στερεά έχουν παραμείνει (δευτεροβάθμια καθίζηση). Τα υγρά που προκύπτουν είναι κατάλληλα για να διοχετευτούν στη θάλασσα ή σε ποτάμια. Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό το νερό προχωρά σε τριτοβάθμια επεξεργασία ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητά του σε άζωτο και φώσφορο με τη χρήση χημικών ή βακτηρίων. Κατόπιν, διοχετεύεται σε έναν τεχνητό υγρότοπο (με καλαμιώνες, βούρλα κ.ά.) ή φίλτρο άμμου, για να επιτευχθεί ακόμη υψηλότερη ποιότητα (διαυγασμός). Η λάσπη από τις καθιζήσεις φυλάσσεται σε δεξαμενές χωρίς αέρα για περίπου 2 εβδομάδες στους 35°C. Αυτή η επεξεργασία παράγει μεθάνιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο (βιοαέριο). Επίσης παράγει ένα ξηρό, σχεδόν άοσμο προϊόν, που με επιπλέον επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή καύσιμο. Οι μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων είναι σήμερα υποχρεωτικές σε όλους τους δήμους της χώρας μας. Μάλιστα ορισμένες βιομηχανίες και επιχειρήσεις (π.χ. ξενοδοχεία) είναι υποχρεωμένες να επεξεργάζονται τα λύματά τους σε δικές τους μονάδες και συχνά χρησιμοποιούν το ανακτημένο νερό στο πότισμα.

Κατά τον σχεδιασμό και εφαρμογή έργων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, ο τύπος επαναχρησιμοποίησης είναι που καθορίζει την απαιτούμενη επεξεργασία των λυμάτων καθώς και τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας των μεθόδων επεξεργασίας. Οι τύποι επεξεργασίας συνήθως διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Andreadakis et al, 2015):

Μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- Γεωργική
- Βιομηχανική
- Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- Αστική
- Δημιουργία χώρων αναψυχής

Πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- Άμεση
- Έμμεση

Μερικά από τα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων είναι (Λιαντράκη, 2019):

- Τα λύματα διαθέτουν χρήσιμα θρεπτικά συστατικά για τις αγροτικές καλλιέργειες όπως άζωτο και φώσφορο
- Ελέγχεται η υπεράντληση υπογείων και επιφανειακών υδάτων
- Είναι μια μέθοδος πολύ πιο οικονομική σε σύγκριση με την κατασκευή φραγμάτων, την άντληση από υπόγεια ύδατα και την αφαλάτωση
- Συνεισφέρει στην αειφόρο και ορθολογιστική διαχείριση των υδατικών πόρων και είναι απόλυτα συνδεδεμένη με την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης.

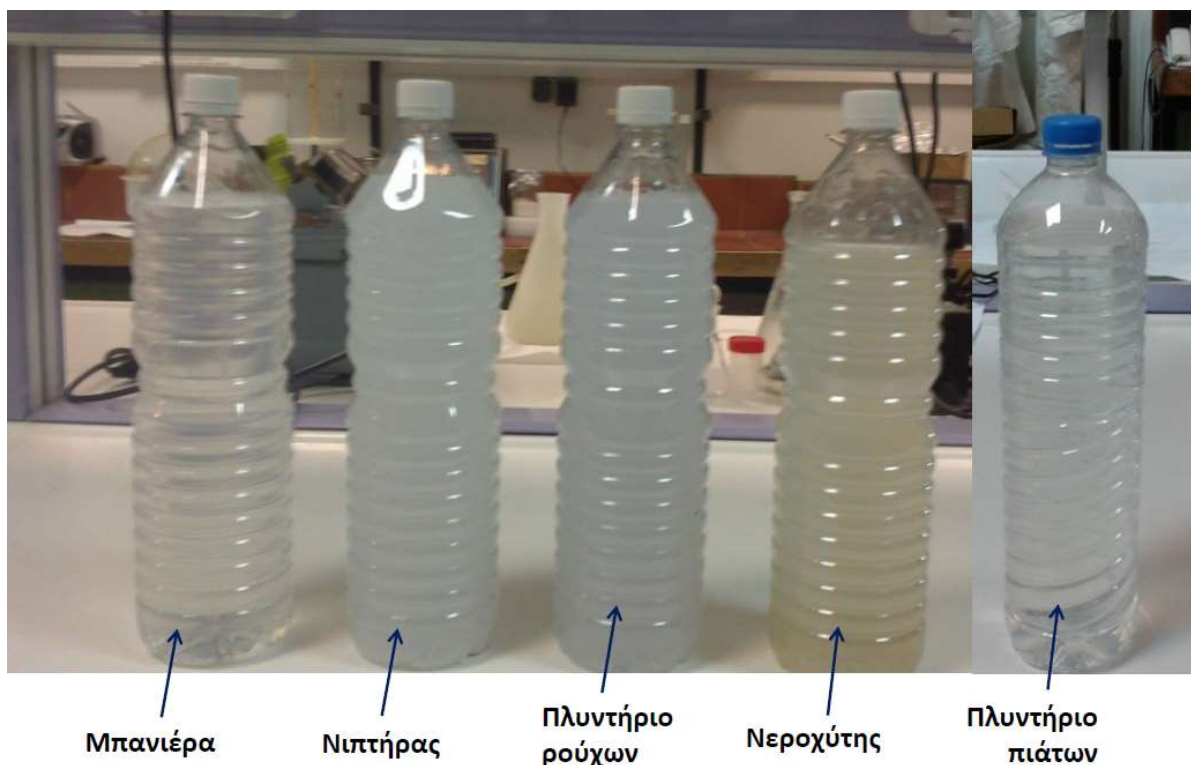
Η μεγάλη ποσότητα περιττωματικού φορτίου στο μαύρο νερό είναι εκείνο το χαρακτηριστικό το οποίο το καθιστά ακατάλληλο για χρήση και κατανάλωση. Σε αντίθεση με το γκρι νερό, η εφαρμογή μεθόδου επεξεργασίας όπως το φιλτράρισμα, δεν πρόκειται να βελτιώσει και να δημιουργήσει το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας, επομένως σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να λειτουργεί ως υποκατάστατο του πόσιμου νερού. Βέβαια, έχουν μελετηθεί περιπτώσεις ανάμιξης με το νερό υδροδότησης ή και για απευθείας χρήση αλλά παρουσιάζονται ζητήματα για ύπαρξη τοξικών ουσιών και δυσκολία στην δημόσια αποδοχή της μεθόδου. Σε πολλές περιπτώσεις, η κακή συντήρηση των συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης, έχει σαν αποτέλεσμα το μαύρο νερό να εμφανίζεται μέχρι και στις βρύσες των νοικοκυριών. Επομένως, αν υπάρχει ένα σημείο στο οποίο θα πρέπει να δώσουμε έμφαση είναι η ροή του μαύρου νερού να απομονώνεται και να καταλήγει σε σημεία ανεξάρτητα και μακριά από τις κατοικημένες περιοχές. Άλλα μειονεκτήματα από την χρήση ανακτημένου νερού σχετίζονται με την πιθανή ρύπανση των επιφανειακών νερών και του υπόγειου υδροφορέα λόγω λανθασμένης διαχείρισης.

Αρκετές χώρες στον κόσμο έχουν αρχίσει να υιοθετούν τέτοιου είδους πρακτικές επαναχρησιμοποίησης λυμάτων. Στην Ισπανία τέτοιες πρακτικές αποτελούν πραγματικότητα για αρκετές περιφέρειες με κύριες εφαρμογές την άρδευση γηπέδων, την γεωργική άρδευση, την επαναφόρτιση υπόγειων υδροφορέων και τη αύξηση απορροής σε ποτάμια ενώ στην Πορτογαλία τα επεξεργασμένα λύματα είναι ένας πολύτιμος δυνητικός πόρος για χρήση στα αρδευτικά δίκτυα και στο πλύσιμο των αυτοκινήτων (Σχορετσανίτη, 2017). Στην Κύπρο όπου ο τουρισμός αποτελεί μια πολύ σημαντική οικονομική δραστηριότητα, χρησιμοποιείται ανακτημένο νερό για την αντιμετώπιση των προβλημάτων

από την υποβάθμιση των υδάτων κολύμβησης αλλά και στην άρδευση. Στην Ελλάδα έχουν υλοποιηθεί πολύ λίγα έργα και τα περισσότερα αφορούν πιλοτικά έργα αρδευτικών καλλιεργειών ή βελτίωσης τοπίου, όπως στην Χαλκίδα, στην Θεσσαλονίκη, στην Άμφισσα, ενώ άλλα βρίσκονται ακόμα σε διαδικασία σχεδιασμού.

Γκρι νερό

Με τον όρο γκρι νερό (greywater) εννοούμε το νερό του οποίου η σύσταση είναι αρκετά πιο αραιή συγκριτικά με το σύνολο των λυμάτων μιας κατοικίας. Το νερό αυτό προκύπτει από οικιακές χρήσεις όπως στο νιπτήρα του μπάνιου, στη μπανιέρα, στο πλύσιμο των πιάτων και των χεριών και γενικότερα το νερό της κουζίνας και το πλύσιμο των ρούχων (Εικόνα 21). Στο γκρι νερό δεν περιλαμβάνεται το νερό το οποίο προκύπτει από τον καθαρισμό της τουαλέτας που συμπεριλαμβάνεται στο μαύρο νερό. Θεωρείται μια πηγή μεγάλης ποσότητας, χαμηλού μικροβιακού φορτίου με μεγάλη δυναμική στην επαναχρησιμοποίησή του, ενώ σε αντίθεση με το βρόχινο νερό δεν επηρεάζεται από τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής και έχει αρκετές εφαρμογές εδώ και αρκετά χρόνια (Oteng-Perrah M. et al, 2018). Κατά τους Hansen and Kjellerup (1994) το γκρι νερό αποτελεί το 75% του συνολικού όγκου των παραγόμενων υγρών οικιακών αποβλήτων.



Εικόνα 21 Πόσο γκρι είναι το γκρι νερό (Moraitis et al., 2021)

Η σύσταση του γκρι νερού σχετίζεται με τον τρόπο ζωής σε μια οικία και τις κλιματικές συνθήκες (Abedin and Rakib 2013, do Couto et al. 2013, Katukiza et al. 2014). Συνήθως περιέχει χώμα, άλατα, ανόργανο και οργανικό υλικό το οποίο βιοδιασπάται εύκολα, φώσφορο και νιτρικά αλλά και βιολογικά μικρόβια όπως η σαλμονέλα. Επίσης μελέτες έχουν δείξει την ουσιών από φαρμακευτικά προϊόντα, καλλυντικά, απορρυπαντικά και τοξικά βαρέα μέταλλα (Pb, Ni, Cu) (Oteng-Perrah M. Et al, 2018). Περιέχει και περιττωματικό φορτίο, αλλά σε πολύ μικρότερο ποσοστό συγκριτικά με το μαύρο νερό, το οποίο οφείλεται κυρίως σε χρήσεις που σχετίζονται είτε με την προσωπική υγιεινή των

ανθρώπων είτε με τη φροντίδα των βρεφών(Εικόνα 22). Το γκρι νερό βρίσκεται συνήθως σε θερμοκρασία 18 με 35 °C και έχει pH από 5 έως 9.

Παράμετρος	Γκρίζο νερό	Μαύρο νερό
E. Coli / 100 ml	10 - 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁸
SS (mg/l)	2 - 1500	100 - 500
BOD (mg/l)	6 - 620	100 - 500
NO2 - N (mg/l)	< 0.1 - 4.9	1 - 10
NH3 - N (mg/l)	0.06 - 25.4	10 - 30
ολικό άζωτο TN (mg/l)	0.06 - 50	20 - 80
ολικός φώσφορος TP (mg/l)	0.04 - 42	5 - 30
pH	5.0 - 10.0	6.5 - 8.5

Εικόνα 22 Σύγκριση γκρι και μαύρου νερού (Eriksson E. et al., 2002)

Από τα μεγαλύτερα προβλήματα αποτελεί η τεράστια ζήτηση σε πόσιμο νερό σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα σε πολλές χώρες να υπάρχει μεγάλη έλλειψη. Κάτι τέτοιο, έχει ως αποτέλεσμα το γκρι νερό να είναι αναγκαίο να αξιοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις ως υποκατάστατο του πόσιμου νερού, έτσι ώστε να περιοριστεί το πρόβλημα της έλλειψής του. Συγκεκριμένα είναι σκόπιμη η επαναχρησιμοποίηση του στις τουαλέτες, στα καζανάκια, αφού στις περισσότερες χώρες σήμερα καταναλώνεται πόσιμο νερό (Εικόνα 23). Ανάλογα με το είδος της χρήσης για την οποία προορίζεται μπορεί να χρειαστεί να υποστεί επεξεργασία πριν την επαναχρησιμοποίηση του με φυσικά, χημικά ή βιολογικά συστήματα. Τέτοιες χρήσεις μπορεί να είναι η άρδευση ή ακόμα και οικιακές χρήσεις. Ειδικά στην πρώτη περίπτωση, σε κράτη με μεγάλες αγροτικές εκτάσεις, η αξιοποίηση του γκρι νερού θα μπορούσε να βοηθήσει σημαντικά και να καλύψει το πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού.



Εικόνα 23 Παράδειγμα συστήματος επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε οικιακό μπάνιο (Moraitis et al., 2021)

Ως βασικά οφέλη της επαναχρησιμοποίησης του γκρι νερού, αναφέρονται τα εξής (Newman and Mouritz, 1996):

- Το νερό είναι πολύτιμο αγαθό για κάθε κοινωνία αλλά η ποσότητά του συχνά δεν είναι επαρκής στον τόπο και στο χρονικό σημείο στο οποίο το χρειαζόμαστε. Η εξοικονόμησή του με την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην περαιτέρω αξιοποίησή του και στην κάλυψη πολλών σημαντικών αναγκών.
- Αποφορτίζεται η πίεση που οφείλεται σε περιοχές που υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση νερού λόγω της λειψυδρίας.
- Αποφορτίζονται τα κεντρικά συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η απαιτούμενη εξοικονόμηση κόστους για την κατασκευή νέων μεγάλων κεντρικών υποδομών.
- Σε περιοχές που χρησιμοποιείται άντληση υπόγειων υδάτων, εξοικονομείται κόστος άντλησης. Το κόστος αυξάνει όσο αυξάνει και το βάθος της άντλησης που πραγματοποιείται.
- Κάθε φορά που στην διαδικασία άρδευσης γίνεται υπέρβαση των αναγκών των φυτών, το γκρι νερό καταλήγει στο έδαφος και γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου δυναμικού.
- Παράλληλα με το κεντρικό σύστημα ύδρευσης και αποχέτευσης, εξασφαλίζεται η δυνατότητα και αποκεντρωμένου συστήματος ύδρευσης και αποχέτευσης.
- Αποτελεί σημαντικό θρεπτικό συστατικό ή πηγή λιπάσματος για την διαδικασία της άρδευσης, αφού το γκρι νερό είναι πλούσιο σε φώσφορο, κάλιο και άζωτο.
- Προστατεύονται από περαιτέρω ρύπανση τα υδάτινα οικοσυστήματα (θάλασσες, ποτάμια, λίμνες) στα οποία καταλήγουν ποσότητες λυμάτων ακόμα και αν σε αυτά έχει προηγηθεί κάποιας μορφής επεξεργασία.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι κάποια οφέλη μπορούν να οδηγήσουν και σε επέκταση των δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, σε αρδευόμενες εκτάσεις ειδικά σε περιοχές με φτωχούς πληθυσμούς, η αξιοποίηση του γκρι νερού συμβάλλει και στην χρήση βιώσιμων προϊόντων. Επίσης, με δεδομένο και το μικρότερο κόστος μεταφοράς λόγω των μικρότερων αποστάσεων, διαπιστώνουμε ότι τα οικονομικά οφέλη είναι πολλαπλά. Το πόσο σημαντικό είναι το γεγονός αυτό αποδεικνύεται από το ότι, περίπου ο μισός πληθυσμός του πλανήτη μπορεί και περισσότερο, δαπανά το μεγαλύτερο μέρος του εισοδήματός του για νερό και τροφή. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι κάλυψη αναγκών μέσα από τεχνικές επαναχρησιμοποίησης είναι υπερπολύτιμη ακόμα και για ζητήματα επιβίωσης του πλανήτη.

Ένα κατασκευαστικό πλεονέκτημα του γκρι νερού, είναι ότι η παραγωγή γκρι νερού είναι σχετικά συνεχής, ομαλή και δεν εξαρτάται από άλλα φαινόμενα, όπως συμβαίνει με το βρόχινο νερό. Για τον λόγο αυτό ο χώρος αποθήκευσης είναι συνήθως σημαντικά μικρότερος από αυτόν που θα απαιτούνταν για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού συνεισφέρει στους Αναπτυξιακούς Στόχους Χιλιετίας όπως τέθηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη στις 8 Σεπτεμβρίου του 2000 (MDGs), με τους οποίους γίνεται προσπάθεια να εξαλειφθεί η ακραία φτώχεια που επικρατεί σε πολλές περιοχές του πλανήτη (σε πολλές περιπτώσεις είναι και πολύ υψηλό το ποσοστό της πείνας), καθώς και να εξασφαλιστεί η περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Ο νούμερο ένα κίνδυνος που θα μπορούσαμε να αναφέρουμε για τη χρησιμοποίηση του γκρι νερού αφορά τη δημόσια υγεία. Αναφέρθηκε πιο πάνω ότι έστω και σε μικρό ποσοστό περιέχει περιττωματικό φορτίο, κάτι το οποίο συνεπάγεται ότι αν δεν γίνει η κατάλληλη επεξεργασία νερού, υπάρχει κίνδυνος ο πληθυσμός να εκτεθεί σε ακατάλληλες ουσίες με συνέπεια τη δημιουργία και μετάδοση μολυσματικών ασθενειών. Το γεγονός ότι η επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού συμβαίνει σε πολλές περιοχές φτωχών πληθυσμών, έχει σαν συνέπεια να επιλέγονται από τις διοικητικές και πολιτικές ηγεσίες συχνά τεχνικές χαμηλού κόστους, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να έχουμε ανεύθυνη διαχείριση και κυρίως μειωμένη επεξεργασία η οποία καθίσταται επικίνδυνη. Για παράδειγμα, εάν το γκρι νερό αποθηκεύεται για μεγάλο χρονικό διάστημα ανεπεξέργαστο μετά τη συλλογή του, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών και κατ' επέκταση ακαθαρσίες οι οποίες είτε επιπλέουν είτε είναι βυθισμένες στη δεξαμενή καθίζησης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην μετάδοση μολυσματικών ασθενειών. Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι θα πρέπει να θεσπιστούν νομοθετικές πράξεις με πιο σαφή όρια τόσο σε σχέση με τις ποσότητες ρυπαντικού φορτίου όσο και χρονικά όρια αποθήκευσης του γκρι νερού μετά τη συλλογή του. Με τον τρόπο αυτό, θα εξασφαλιστεί πιο εύκολα η αναγκαία πρόληψη και η έκθεση της δημόσιας υγείας.

Επίσης, ένας σημαντικός κίνδυνος που μπορούμε να συναντήσουμε ανάλογα με την περιοχή, είναι αυτός ο οποίος αφορά την κοινωνική αποδοχή από την πλευρά των πληθυσμών. Σε πολλές περιπτώσεις οι κάτοικοι είναι θετικοί στην επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού ειδικά όταν αντιλαμβάνονται ότι κάτι τέτοιο θα συμβάλει στην επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις που η καθυστέρηση της επεξεργασίας είχε σαν αποτέλεσμα να εκλύονται δυσμενείς οσμές, αυτό επέφερε και τις αμφιβολίες των κατοίκων της περιοχής και σε πολλές περιπτώσεις την οριστική διακοπή της εφαρμογής τεχνικών επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού. Αξίζει να τονιστεί, ότι συνήθως το γκρι νερό αμέσως μετά τη συλλογή του δεν εκλύει έντονα δυσάρεστες οσμές, απαιτείται όμως άμεση επεξεργασία μετά τη συλλογή του.

Σε ότι αφορά το περιβάλλον, δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για αρνητική επίπτωση από την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού στην εδαφική διήθηση, ενώ οι περισσότερες έρευνες εστιάζουν στον κίνδυνο για την δημόσια υγεία (Eriksson et al, 2003).

Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά στην καθημερινότητά μας. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένα από αυτά (Friedler and Hadari, 2006):

- Σύστημα συλλογής του ανεπεξέργαστου γκρι νερού από τις οικιακές χρήσεις, και πιο συγκεκριμένα από το κάθε διαμέρισμα. Τα περισσότερα οικήματα κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διαχωρίζεται εύκολα η συλλογή του γκρι από το μαύρο νερό, αφού υπάρχει ξεχωριστό φρεάτιο των δευτερευόντων αγωγών. Συνήθως, οι κεντρικοί-κάθετοι αγωγοί της αποχέτευσης βρίσκονται κοντά στο δωμάτιο του μπάνιου ώστε να είναι μειωμένο το κόστος.
- Μονάδα επεξεργασίας στην οποία γίνεται η μετατροπή του γκρι νερού σε πράσινο.

- Σύστημα διανομής του επεξεργασμένου νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης στα καζανάκια. Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε κάθε διαμέρισμα και επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τη βαρύτητα με χρήση ξεχωριστού κάθετου αγωγού.
- Σύστημα μεταφοράς του επεξεργασμένου πράσινου νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης με τη βοήθεια αντλιοστασίων. Από εκεί το επεξεργασμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρκετές ανάγκες σε επίπεδο οικίας, όπως η άρδευση φυτών και κήπων.

Πράσινο νερό

Με τον όρο πράσινο νερό αναφερόμαστε στο επεξεργασμένο βρόχινο νερό ή στο επεξεργασμένο γκρι νερό αλλά και στον συνδυασμό των δύο αυτών ροών. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο αυτές ροές σε συστήματα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένου νερού και ανεξαρτήτως του μεγέθους του συστήματος, το πράσινο νερό μπορεί να αποτελέσει σημαντική εναλλακτική πηγή νερού, αντικαθιστώντας το πόσιμο νερό σε πολλές χρήσεις, κυρίως οικιακές, εκτός της πόσιμης (Makropoulos et al, 2007). Μελέτες έχουν δείξει πώς τέτοιες διατάξεις με συνδυασμό γκρι και βρόχινου νερού μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς υγειονομικό ρίσκο και με μικρό λειτουργικό κόστος (Nolde, 2000).

Κοινωνική αποδοχή

Μια κρίσιμη παράμετρος για την επιτυχία και προσαρμογή στα εναλλακτικά συστήματα διαχείρισης υδατικών πόρων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι η κοινωνική αποδοχή. Μία λύση μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, κοινωνικούς, πολιτικούς, οικονομικούς, μέχρι να φτάσει να γίνει αποδεκτή η μη. Μεγάλη σημασία για τον μέσο καταναλωτή, έχει και η πιθανή εφαρμογή μεθόδων και στο παρελθόν που μέσω της εμπειρίας και της αποτελεσματικής εφαρμογής τους μπορεί να γίνουν αποδεκτές. Βέβαια, το ζήτημα της κοινωνικής αποδοχής αφορά και τις εταιρείες παροχής νερού, τους σχεδιαστές και κατασκευαστές αυτών των συστημάτων οι οποίοι παρουσιάζουν έλλειμμα στην διερεύνησή του. Έτσι μπορεί κάποια μελέτη που προτείνεται ως κατάλληλη από τους ειδικούς (μηχανικούς, τεχνικούς) να μην γίνεται αποδεκτή από τα μέλη της κοινωνίας, να συναντάει αντιδράσεις με αποτέλεσμα να αποτρέπεται (Daskalakis, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, στην πρόταση για επαναχρησιμοποίηση νερού, τα περισσότερα μέλη της κοινωνίας φαίνεται να έχουν μια αρνητική απόκριση λόγω της αισθητικής αντίληψης που τους προκαλεί η ιδέα (π.χ. κατανάλωση τροφίμων που έχουν αρδευτεί με επεξεργασμένο νερό), την πιθανότητα έκθεσης σε κινδύνους για την υγεία, το χρώμα και οι οσμές, οι αντιλήψεις για τα θέματα του περιβάλλοντος αλλά και η εμπιστοσύνη στις αρχές και στην επιστημονική γνώση (Daskalakis, 2011). Από την άλλη, στην δυσφήμιση της πρακτικής μπορεί να συμβάλλει και ο τρόπος που διεξάγεται η επικοινωνία για το θέμα με την κοινωνία, το επίπεδο μόρφωσης των μελών της κοινωνίας και ο βαθμός που η κοινωνία συμμετέχει στην λήψη αποφάσεων (Daskalakis, 2011).

Έχει παρατηρηθεί πώς την μεγαλύτερη αντίθεση σε τέτοιες προτάσεις την παρουσιάζουν άτομα μεγαλύτερης ηλικίας και άτομα χαμηλού μορφωτικού επιπέδου (Menegaki et al, 2007). Η τιμολογιακή πολιτική και τα κίνητρα θα μπορούσαν να συντελέσουν ένα σημαντικό ρόλο, πέρα από την σωστή επικοινωνία, για τη προσαρμογή εναλλακτικών διατάξεων

διαχείρισης του αστικού κύκλου του νερού, με την προσφορά επιδοτήσεων, την προσφορά του επεξεργασμένου νερού σε τιμή καλύτερη από το πόσιμο.

Υπάρχουν περιπτώσεις μελετών στις οποίες αποτυπώνεται η στάση των κοινωνικών ομάδων απέναντι στις προτάσεις που έγιναν. Συγκεκριμένα στην Κρήτη, διερευνήθηκε η πρόθεση των γεωργών να χρησιμοποιήσουν για άρδευση επεξεργασμένο νερό για τις καλλιέργειές τους και η πρόθεση των καταναλωτών να προτιμήσουν αυτά τα προϊόντα και παρατηρήθηκαν μεγάλα ποσοστά αποδοχής σε καλλιέργειες όπως η ελιά και μικρότερα ποσοστά σε αυτές της ντομάτας (Menegaki et al, 2007). Αντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει και σε άλλες χώρες όπως η Βαρκελώνη, όπου στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού στα καζανάκια της τουαλέτας, παρατηρήθηκαν πολύ υψηλά ποσοστά αποδοχής.

2.4 Οφέλη νέων τεχνολογιών διαχείρισης αστικών υδάτων

Η αποτελεσματικότητα μιας τεχνολογίας διαχείρισης ομβρίων υδάτων κρίνεται από τα εξής:

- Γρήγορη απομάκρυνση του νερού, επιφάνειες ελεύθερες από παραμένοντα ύδατα
- Ασφαλέστεροι δρόμοι και χώροι στάθμευσης. Απουσία λιμναζόντων υδάτων, αποφυγή πάγου σε συνθήκες ψύχους.
- Μειωμένος κίνδυνος πλημμυρικών φαινομένων. Υψηλή υδατοπερατότητα και ικανότητα αποστράγγισης.

2.4.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

- Ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις της αστικής δόμησης στον φυσικό κύκλο του νερού.
- Μειώνεται η μόλυνση των ομβρίων υδάτων μέσω του φιλτραρίσματος σωματιδίων.
- Εξασφαλίζεται φυσική επανατραφοδότηση του υδροφόρου ορίζοντα στο αστικό περιβάλλον.
- Μειώνονται οι οικολογικές επιπτώσεις, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα η γη.
- Οι απορροές περνούν από διεργασίες καθίζησης, διήθησης και προσρόφησης μέσω των οποίων απομακρύνεται σημαντικό φορτίο, με αποτέλεσμα να καταλήγουν στα κατάντη υδατορεύματα, νερά καλύτερης ποιότητας. Αυτό έχει και σαν αποτέλεσμα να μειώνεται και το κόστος επεξεργασίας. Επιπλέον, λόγω της μείωσης των διαπεράτων επιφανειών, το νερό της βροχής διηθείται στο έδαφος εμπλουτίζοντας τον υπόγειο υδροφόρο. Η σημασία του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων, είναι διακριτή αν αναλογιστεί κανείς πως σε περιόδους ξηρασίας η βασική ροή διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά των υδατορευμάτων, όπως είναι η θερμοκρασία.
- Τα μικρά αποκεντρωμένα συστήματα είναι περισσότερο εναρμονισμένα με το φυσικό τοπίο και λειτουργούν λιγότερο επεμβατικά από αισθητικής απόψεως. Επιπλέον, βοηθούν στην καλύτερη του μικροκλίματος των αστικών περιοχών και την αύξηση της αξίας της γης.

2.4.2 Οικονομικά οφέλη

- Μειωμένα κόστη διαχείρισης ομβρίων υδάτων. Κατάργηση σωληνώσεων, λεκανών περισυλλογής και εγκαταστάσεων διήθησης.
- Μειωμένα μακροχρόνια και επαναληπτικά περιοδικά κόστη συντήρησης. Επιφάνεια υψηλής ανθεκτικότητας, απουσία αποκολλήσεων.
- Όταν εγκαθίστανται σε ιδιωτικούς χώρους και κτίρια, συμβάλλουν στην ευαισθητοποίηση των ιδιωτών, σε θέματα που αφορούν τη σωστή διαχείριση και την εξοικονόμηση νερού.

2.5 Νομοθεσία

Σε ότι αφορά το νομοθετικό πλαίσιο, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) κατάρτισε το 1989 μία οδηγία με σκοπό να αντιμετωπίσει τα επιδημιολογικά φαινόμενα από την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Προς αυτό διερευνήθηκαν 4 κατηγορίες μέτρων:

- Επεξεργασία λυμάτων
- Περιορισμός των τύπων αρδευόμενων καλλιεργειών
- Επιλογή μεθόδου άρδευσης
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των καλλιεργειών.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι πολιτικές για την εξοικονόμηση νερού και την αποδοτικότερη χρήση του περιγράφονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/EK για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στο τομέα της πολιτικής των υδάτων.

Στην πολιτεία της Καλιφόρνια ο κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων έχει θεσμοθετηθεί από το 1918, και από τότε έχει υποστεί αρκετές τροποποιήσεις μέχρι να πάρει την σημερινή του μορφή για να αποτελέσει έναν σημαντικό οδηγό και για άλλες πολλές χώρες. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχει μόνο αναφορά στην οδηγία 91/271 (EU, 1991), η οποία αφορά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων αναφέροντας ότι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων πρέπει να γίνεται όπου κρίνεται σκόπιμο. Στις περισσότερες μεσογειακές χώρες δεν υπάρχει σαφής νομοθεσία για τις μεθόδους επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων (Papatrifiantafyllou, 2012).

Τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη δεν έχει δημιουργηθεί το νομοθετικό πλαίσιο που να αναφέρεται στην επαναχρησιμοποίηση οικιακών ροών και τα επιτρεπτά ποιοτικά όρια για βρόχινο και γκρι νερό. Ωστόσο στην Ελλάδα γίνονται βήματα για την θεσμοθέτηση πρακτικών συλλογής ομβρίων, με το ΠΔ Με το ΠΔ της 10-05-2002 (ΦΕΚ402/Δ/17-05-2002) που αφορά κυρίως κάποια νησιά της χώρας, έγινε απαραίτητη η κατασκευή ομβροδεξαμενών σε εκτός σχεδίου και οικισμών κατοικίες, ως όρος δόμησης, ενώ με το ΠΔ της 16-06-1993 (ΦΕΚ 732/Δ/07-07-1993), στα νησιά της Πάρου και Αντίπαρου έγινε υποχρεωτική η κατασκευή υπόγειων ομβροδεξαμενών για την εξοικονόμηση πόσιμου νερού (Toraloglou, 2011).

Σχετικά με τα φυτεμένα δώματα, στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο περιορίζεται σε κατασκευαστικά μέτρα και οδηγίες που αφορούν την άρδυσή τους, χωρίς να απαιτείται η κατασκευή τους σε Δημόσια κτήρια που διαθέτουν μεγάλες επιφάνειες δωμαίων ανεκμετάλλευτες.

2.5.1 Στόχοι νομοθεσίας

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116 (Μάρτιος 2011), καθορίζονται μέτρα, όροι και διαδικασίες για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Οι στόχοι οι οποίοι καθορίζονται από το αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο είναι πολλαπλοί και σε διαφορετικά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, οι βασικοί στόχοι είναι οι εξής:

- Αντιμετώπιση της λειψυδρίας και της ξηρασίας η οποία επιδεινώνεται διαρκώς στην περιοχή της Μεσογείου. Το πρόβλημα αυτό διογκώνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής η οποία έχει κάνει ήδη την εμφάνισή της με ραγδαίους ρυθμούς τόσο στη χώρα μας όσο και σε άλλα κράτη.
- Η υπεράντληση υπόγειων υδροφορέων έχει ως αποτέλεσμα την ταπείνωση της στάθμης τους και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και την υφαλμύρινσή τους. Το νομοθετικό πλαίσιο θέτει κάποια όρια στην ποσότητα της άντλησης τα οποία μπορούν σταδιακά να βελτιώσουν το πρόβλημα.
- Η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

Η προγραμματισμένη επαναχρησιμοποίηση επιτρέπεται για γεωργική χρήση (άρδευση), για την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, για αστική και περιαστική χρήση, για βιομηχανική χρήση και για τα υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007, σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους που προβλέπονται κατά περίπτωση στα άρθρα 4, 5, 6, 7 και 8 της παρούσας απόφασης. Στο ίδιο πλαίσιο, προβλέπεται επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες.

2.5.2 Περιεχόμενο νομοθεσίας

Μέσω του νομοθετικού πλαισίου, καθορίζονται πολλοί διαφορετικοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης, κάτι το οποίο διευκολύνει στην αξιοποίηση πολλών διατιθέμενων υδατικών πόρων, και κυρίως στην κάλυψη του ελλείμματος που παρατηρείται σε πολλές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται τα εξής:

- Γεωργική Άρδευση
- Τροφοδότηση ή Εμπλουτισμός Υπόγειου Υδροφορέα
- Αστική ή Περιαστική χρήση
- Βιομηχανική χρήση
- Υδατικά συστήματα

Σε σχέση με την επαναχρησιμοποίηση για άρδευση (άρθρο 4), τομέα που η μέθοδος παρουσιάζει μια ζήτηση, διακρίνονται δύο τύποι άρδευσης με βάση το είδος των καλλιεργειών:

- Την άρδευση με περιορισμούς (περιορισμένη), η οποία αφορά μόνο σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Τέτοια παραδείγματα είναι οι καλλιέργειες ζωοτροφών, οι βιομηχανικές καλλιέργειες, δένδρα, λιβάδια, με την προϋπόθεση κατά τη συλλογή οι καρποί να μην βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος.
- Η άρδευση χωρίς περιορισμούς (απεριόριστη), η οποία μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περιορισμοί στην πρόσβαση.

Για την περιορισμένη ή απεριόριστη άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα απαιτείται η εκπόνηση σχεδίου μελέτης και εφαρμογής του συστήματος της άρδευσης ανάλογα με το συγκεκριμένο είδος της καλλιέργειας και το είδος της περιοχής.

Η παραπάνω μελέτη περιελάμβανε τα εξής:

- Το υδατικό ισοζύγιο, σε συνάρτηση με τις αρδευόμενες καλλιέργειες και το ισοζύγιο οργανικού φορτίου και θρεπτικών ιχνοστοιχείων.
- Τον υπολογισμό της συνολικά απαιτούμενης εδαφικής έκτασης.
- Τα προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων.
- Τα απαιτούμενα πρόσθετα μέτρα και όρια.
- Τα απαιτούμενα μέτρα ενημέρωσης και προστασίας για τους χρήστες και τους καταναλωτές.

Σε σχέση με την επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική χρήση (άρθρο 7), περιλαμβάνονται εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης, αξιοποίηση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για άλλες βιομηχανικές διεργασίες. Για τη βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση πέραν των νερών ψύξης μιας χρήσης, απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία, η οποία καθορίζεται ανάλογα με το είδος βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης. Για το περιεχόμενο της μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής της βιομηχανικής χρήσης γνωμοδότησαν η Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης και οι αρμόδιες Διευθύνσεις Υγείας και Ανάπτυξης της

Περιφέρειας, στο πλαίσιο της διαδικασίας έκδοσης της άδειας επαναχρησιμοποίησης που προβλέπεται στο άρθρο 9. Καθορίζονται μέγιστα όρια για τις μικροβιολογικές, τις συμβατικές και άλλες χημικές παραμέτρους, καθώς και η εκάστοτε κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία, το είδος και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων, στην περίπτωση βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Σε ότι αφορά τα υδατικά συστήματα, η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων μπορεί να γίνει για διοχέτευση τους με υπεδάφια διάθεση μέσω διήθησης στο υπόγειο υδατικό σύστημα, σε ιδιωτικά συστήματα μεμονωμένων κατοικιών και σε τουριστικές εγκαταστάσεις. Αντίστοιχα, Η επαναχρησιμοποίηση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για αστικές και περιαστικές δραστηριότητες αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών, εκτός των χρήσεων για πόση, την κολύμβηση και τις οικιακές δραστηριότητες.

Τόσο για την επαναχρησιμοποίηση στην άρδευση όσο και στη βιομηχανική χρήση, τροφοδότηση του υπόγειου υδροφορέα, αστική ή περιαστική χρήση και στα υδατικά συστήματα απαιτούνται πολλές προϋποθέσεις για την έκδοση άδειας, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να εγκριθούν και να υλοποιηθούν. Τα κριτήρια σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αρκετά σύνθετα, και συνδέονται τόσο με την περιοχή όσο και με τον αριθμό των κατοίκων.

2.5.3 Τροποποιημένο νομοθετικό πλαίσιο

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 191002 (Σεπτέμβριος 2013), δημιουργήθηκαν διάφορες τροποποιήσεις για τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα τόσο για την επαναχρησιμοποίηση στην άρδευση όσο και στη βιομηχανία. Δίνεται περισσότερη έμφαση στην αξιοποίησή τους για την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, ενώ ταυτόχρονα δημιουργούνται και πιο ευέλικτοι όροι για την επαναχρησιμοποίηση. Η έκδοση αδειών γίνεται πιο εύκολη καθώς απαιτούνται λιγότερες εγκρίσεις από τις αρμόδιες υπηρεσίες οπότε επιταχύνεται ο χρόνος έγκρισης και υλοποίησης. Επίσης, δημιουργούνται και κάποιες εξαιρέσεις για την άδεια επαναχρησιμοποίησης όπως σε περιπτώσεις επεξεργασίας λυμάτων αμιγώς οικιακού χαρακτήρα και σαφώς διαχωρισμένων του προσωπικού των βιομηχανικών και άλλων δραστηριοτήτων, ενώ πλέον δεν απαιτείται άδεια επαναχρησιμοποίησης στις περιπτώσεις: α) περιορισμένης άρδευσης μέσω υπεδάφιου συστήματος και β) τροφοδότησης υπόγειων υδροφορέων, οι οποίοι δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007, μόνο μέσω διήθησης και όχι μέσω γεώτρησης, αλλά θα λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις διάθεσης λυμάτων που περιλαμβάνονται στην οικοδομική άδεια των ανωτέρω εγκαταστάσεων.

Η τελευταία νομοθετική οδηγία θεωρείται από αρκετούς φορείς πιο σαφής και συγκεκριμένη κυρίως στο θέμα του καθορισμού των ποσοτικών εκτιμήσεων καθώς και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων λυμάτων. Επίσης, δίνονται σαφή όρια για τους αποδέκτες των επεξεργασμένων αποβλήτων (πχ σύνδεση με αποχετευτικό δίκτυο, υπόγειος υδροφόρεας, επιφανειακός υδάτινος αποδέκτης).

3. EuPOLIS και περιοχή μελέτης

3.1 Ερευνητικό πρόγραμμα EuPOLIS

Το ερευνητικό πρόγραμμα EuPOLIS έχει ως κύριο στόχο του την εφαρμογή μιας καινοτόμου μεθοδολογίας πολεοδομικού σχεδιασμού, που ενσωματώνει φυσικές/πράσινες λύσεις (NBS-Nature Based Solutions) για τη βελτίωση της υγείας και της ευημερίας των πολιτών σε 4 ευρωπαϊκές πόλεις. Το πρόγραμμα EuPOLIS χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος «Horizon 2020» και συντονίζεται από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και με την βοήθεια 28 ακόμα συνεργατών/εταίρων από όλο τον κόσμο σκοπεύει να εφαρμόσει πιλοτικά ένα νέο τρόπο ανάπτυξης του αστικού τοπίου σε 4 πόλεις (www.euPOLIS-project.eu):

- Πειραιάς (Ελλάδα)
- Βελιγράδι (Σερβία)
- Λοτζ(Πολωνία)
- Γκλάντσαξε (Δανία)

Από την άλλη πόλεις, όπως η Μπογκοτά (Κολομβία), το Παλέρμο (Ιταλία), η Λεμεσός (Κύπρος) και η Τρεμπίνιε (Βοσνία Ερζεγοβίνη), θα χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα των καινοτομιών για να τα επιδείξουν και να προωθήσουν τα πλεονεκτήματά τους. Η διάρκεια του προγράμματος θα είναι από 1 Σεπτεμβρίου 2020 έως 31 Αυγούστου 2024 και έχει συνολικό προϋπολογισμό περίπου 11.300.000 ευρώ. Ο τίτλος του έργου που εμπεριέχει το πρόθεμα «eu» που σημαίνει «καλό» και την λέξη «POLIS» αντικατοπτρίζει τις προθέσεις του για τον επαναπροσδιορισμό των πόλεων. Η λογική του EuPOLIS βασίζεται στις «Λύσεις βασισμένες στην φύση» (NBS) και τις παρεμβάσεις τέτοιων πρακτικών για την ανάπλαση δημόσιων χώρων και την βελτίωση της ευημερίας των πολιτών (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 Η έννοια των Nature based Solutions στο EuPOLIS μέσω της αναπαράστασης των παρεμβάσεων (euPOLIS)

Ο κόσμος αλλάζει δραματικά και οι ευρωπαϊκές πόλεις αντιμετωπίζουν ολοένα και περισσότερες αστικές αναπτυξιακές, κοινωνικές, γεωπολιτικές, οικονομικές και κλιματικές προκλήσεις που επηρεάζουν τον τρόπο που ζούμε. Είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη να αλλάξουμε τον τρόπο που σχεδιάζουμε τις πόλεις ώστε να μην λαμβάνουμε μόνο υπόψη κριτήρια με γνώμονα το κέρδος, αλλά να θέσουμε στο κέντρο του σχεδιασμού τον σεβασμό προς το περιβάλλον. Η συμβατική προσέγγιση επιβάλλει να ληφθούν υπόψη και κοινωνικά κριτήρια και έννοιες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρατηρείται μια παραμέληση των αναγκών των τοπικών κοινοτήτων, κάτι που δημιουργεί το αίσθημα της αποτυχίας των δαπανηρών επενδύσεων και της έλλειψης βιωσιμότητας, κλονίζοντας έτσι την εμπιστοσύνη μεταξύ των πολιτών και των δημοτικών αρχών. Αυτό οδηγεί στη συσσώρευση «κοινωνικών ανωμαλιών» με αποτέλεσμα να προκαλούνται άγχος, δυσαρέσκεια μειώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής, τη δημόσια υγεία και την ευημερία των πολιτών.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η μεθοδολογία του προγράμματος EuPOLIS για τον πολεοδομικό σχεδιασμό βασίζεται στις πράσινες υποδομές, προσφέρει τη συνέργεια της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης που λαμβάνει υπόψη την υγεία των ανθρώπων, με τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των πράσινων και μπλε υποδομών (www.euPOLIS-project.eu). Για αυτό, το έργο αποσκοπεί στο να οικοδομήσει ένα μοντέλο βιωσιμότητας με κέντρο της τεχνικές παρεμβάσεις, το οποίο όμως θα έχει τις ρίζες του στις ανάγκες της κοινωνίας και θα αξιοποιεί τις διαφορετικές δυνατότητες των κοινοτήτων. Βασική προϋπόθεση του EuPOLIS είναι να αντικατοπτρίσει την φωνή των χρηστών στην διαδικασία σχεδιασμού και να διασφαλίσει την συνάφεια των παρεμβάσεων με τις προτιμήσεις τους και ανάγκες τους.

Έτσι το EuPOLIS στοχεύει:

- 1) Στην αντικατάσταση της παραδοσιακής αντίληψης με την οποία κατασκευάζονται μηχανικά συστήματα για την προστασία του περιβάλλοντος με σημαντικό κόστος. Στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη φυσικών συστημάτων για την ταυτόχρονη ενίσχυση της δημόσιας υγείας (Public Health) και της ευημερίας (Well Being) και η δημιουργία ανθεκτικών αστικών οικοσυστημάτων με μειωμένα κόστη κύκλου ζωής.
- 2) Να προτείνει μια δομημένη προσέγγιση για την ενεργοποίηση των κρυφών δυνατοτήτων και υπηρεσιών των υπάρχοντων φυσικών και κατασκευασμένων αστικών συστημάτων, την ενσωμάτωσή τους και τον προσδιορισμό των κοινών κοινωνικών, πολιτιστικών και οικονομικών επιπτώσεών τους ως ενιαίου πλαισίου.
- 3) Στην ανασυγκρότηση και αποκατάσταση των αστικών οικοσυστημάτων, αντιμετωπίζοντας παράλληλα βασικές προκλήσεις όπως η χαμηλή περιβαλλοντική ποιότητα, ο κατακερματισμός και η χαμηλή βιοποικιλότητα στους δημόσιους χώρους, η υποτιμημένη χρήση του χώρου στις υποβαθμισμένες περιοχές και, ως εκ τούτου,
- 4) Να βελτιώσει την αστική ανθεκτικότητα (επιχειρησιακή, κοινωνική και οικονομική) μέσω παρεμβάσεων που έχουν σχεδιαστεί με τη χρήση ενός συνόλου κατάλληλων πολεοδομικών πινάκων, οι οποίες καταλύουν τη συμμετοχή των ενδιαφερομένων με ιδιαίτερη προσοχή στις διακρίσεις φύλου, ηλικίας και αναπηρίας στο πλαίσιο της διαδικασίας,
- 5) Να δημιουργήσει ανοιχτούς και προσιτούς αστικούς χώρους μέσω της συστηματικής εφαρμογής στρατηγικών ενσωμάτωσης της διάστασης της ισότητας των φύλων και νέων συμμετοχικών εργαλείων σε όλες τις φάσεις και διαδικασίες ανάπτυξης των έργων, ώστε να διασφαλιστεί ότι λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες των διαφόρων ομάδων.

Οι εμπειρογνώμονες και ειδικοί της ομάδας του EuPOLIS θα χαρτογραφήσουν τις κρίσιμες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν πιλοτικές πόλεις, θα παρέχουν οριστικές λύσεις και θα μετρήσουν το θετικό αντίκτυπό τους στην ποιότητα της ζωής των πολιτών: τη γενική ευημερία, καθώς και τη σωματική, ψυχική και συναισθηματική υγεία τους.

Κατά την διάρκεια υλοποίησης του προγράμματος ο Δήμος Πειραιά θα λειτουργήσει σαν πόλη-οδηγός (front runner city) όπου θα εφαρμοστούν σε πειραματικό επίπεδο, φυσικές λύσεις με στόχο την αναβάθμιση του αστικού τοπίου και της ποιότητας ζωής των πολιτών του. Η Λεμεσός θα αποτελέσει την πόλη που θα ακολουθήσει (follower city) τον Πειραιά, ερευνώντας και αξιολογώντας τις δράσεις του με σκοπό στην συνέχεια να τις εφαρμόσει και η ίδια.

Κάποια ενδεικτικά παραδείγματα από τις πιλοτικές πράσινες και μπλε δράσεις αποτελούν η δημιουργία πράσινου φυτεμένου δώματος εντός του σχολικού συγκροτήματος επί της οδού Αλεξάνδρου, η ανακύκλωση βρόχινου και γκρι νερού, ο καθαρισμός του καναλιού κατά μήκος της Ακτής Δηλαβέρη, η παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων με κατάλληλους αισθητήρες αλλά και η συνολική αναβάθμιση του περιβάλλοντος χώρου με παρεμβάσεις πρασίνου και βελτίωσης του φωτισμού, με τελικό στόχο να είναι εφικτή η ενοποίηση του με την όμορη περιοχή του Μικρολίμανου (Ακτή Κουμουνδούρου). Παράλληλα σε πολλές τοπικές επιχειρήσεις προβλέπεται να εφαρμοστούν λύσεις πράσινης αναβάθμισης των χώρων τους αλλά και προηγμένης διαχείρισης του νερού μέσω νέων συστημάτων μικρής κλίμακας που θα τους εγκατασταθούν.



Εικόνα 25 Η περιοχή του μικρολίμανου στον Πειραιά (EuPOLIS)

3.2 Περιοχή Μελέτης

Τον 19ο αιώνα ο Πειραιάς αρχίζει να αλλάζει. Ο πληθυσμός αυξάνεται και φτάνει το 1855 στους 6.000 κατοίκους. Επομένως, η ανάγκη για τη δημιουργία νέων υποδομών όπως σχολείων είναι έντονη. Η δυσκολία εύρεσης πόρων από τον Δήμο για την συντήρηση και την λειτουργία των ήδη υπαρχόντων σχολείων είναι δυσβάστακτο, για αυτό τον λόγο στρέφεται προς αναζήτηση χρημάτων από τους πλούσιους Έλληνες του εσωτερικού και του εξωτερικού. Η αρχή έγινε με τον Ιωνίδα που δημιούργησε το σχολαρχείο και συνεχίστηκε με έναν άλλο Έλληνα που ζούσε στην Κωνσταντινούπολη, τον Ιάκωβο Ράλλη. Τότε, Δήμαρχος Πειραιά ήταν ο αδελφός του Λουκάς Ράλλης που πρώτος επεσήμανε την έλλειψη ενός σχολείου για τα κορίτσια που επιθυμούσαν μόρφωση ανώτερη από αυτή που προσέφερε η εκπαίδευση του Δημοτικού Σχολείου. Έτσι έπεισε τον αδελφό του Ιάκωβο για να καλύψει τα σχετικά έξοδα για την δημιουργία ενός Παρθεναγωγείου στην πλατεία Κοραή, απέναντι από το Δημοτικό θέατρο (Μιχαήλ Περβολαράκης, www.1dim-peir-peiraia.att.sch.gr).

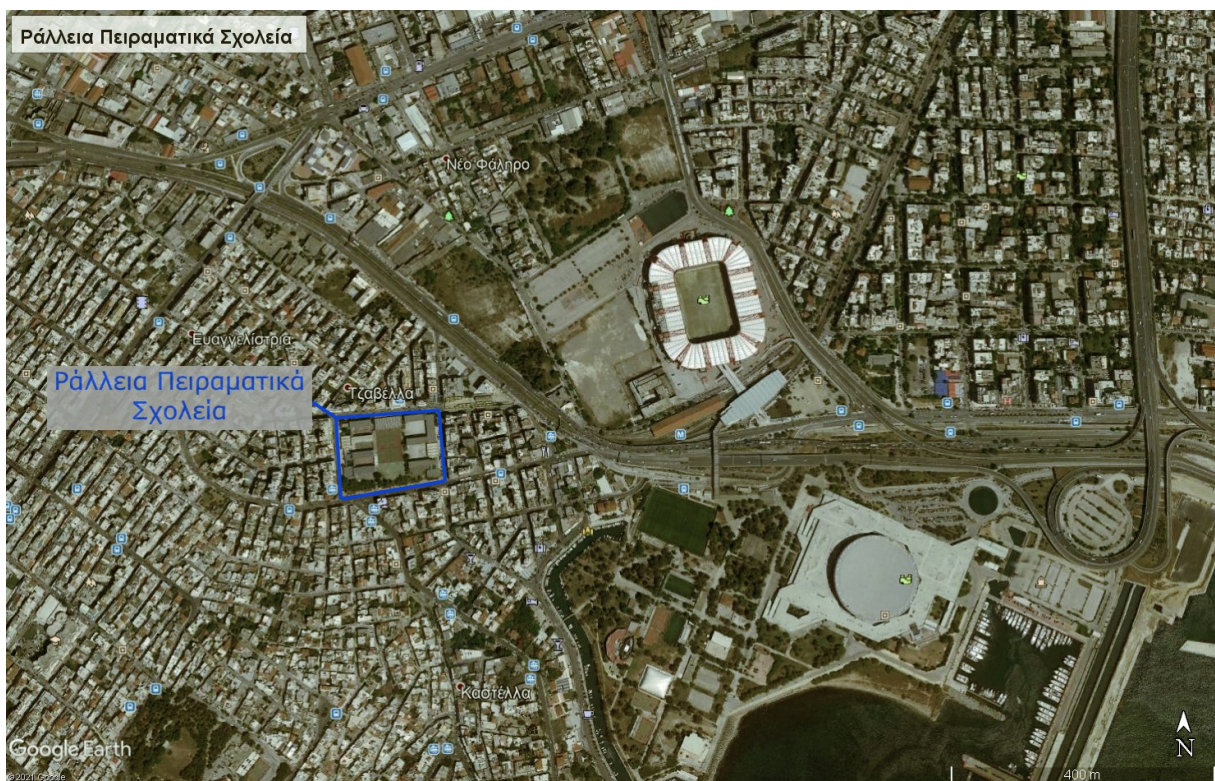
Έπειτα το παρθεναγωγείο με το διάταγμα της 7^{ης} Οκτωβρίου του 1892 εξελίχθηκε σε Διδασκαλείο και μετονομάστηκε σε Δημοσυντήρητο Διδασκαλείο Πειραιώς. Με το νόμο 5800 του 1933 το κράτος αντικατέστησε όλα τα διδασκαλεία με τις Παιδαγωγικές Ακαδημίες, οπότε και το σχολείο μετονομάστηκε σε Δημοσυντήρητη Παιδαγωγική Ακαδημία Πειραιώς. Τέλος με τον αναγκαστικό νόμο 1862 του 1939 τα Πρότυπα Δημοτικά, το Γυμνάσιο και η Παιδαγωγική Ακαδημία, θεωρήθηκαν δημόσια και μετονομάστηκαν το μεν Γυμνάσιο σε Ράλλειο Γυμνάσιο Θηλέων η δε Ακαδημία με τα πρότυπα της σχολεία σε Ράλλειο Παιδαγωγική Ακαδημία.

Ωστόσο με την άνοδο της χούντας, καταργήθηκαν όλες οι Παιδαγωγικές Ακαδημίες μαζί και με αυτή του Ραλλείου, για πολιτικούς λόγους. Στόχος τους ήταν να χρησιμοποιήσουν το κτήριο της Παιδαγωγικής Ακαδημίας στην πλατεία Κοραή για να το αξιοποιήσει ο Δήμος.

Έτσι μεταστεγάζονται στην σημερινή θέση, στον πρώην εργοστάσιο σαπωνοποιίας Ρετσίνα, τα Πρότυπα Δημοτικά Σχολεία.

Με το νόμο 156/1975 επανιδρύεται και πάλι η Ράλλειος Παιδαγωγική Ακαδημία και με τον νόμο 1268 αποφασίζεται η κατάργηση των Παιδαγωγικών Ακαδημιών και η ίδρυση των Παιδαγωγικών Τμημάτων στα Πανεπιστήμια. Τέλος, στις 24/6/1991 υπεγράφη η τελευταία Πράξη παράδοσης της Ακαδημίας και η μεταβίβασή της στον Οργανισμό Σχολικών Κτιρίων, όπου λειτουργούν τα Πειραματικά Σχολεία της πρώην Παιδαγωγικής Ακαδημίας Πειραιά, τα οποία με το υπ' αριθμό 96/τ.Β'/14-2-1995 Φ.Ε.Κ. εντάσσονται στο Παιδαγωγικό τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Τα Ράλλεια Πειραματικά Σχολεία Πειραιά βρίσκονται στην οδό Αλεξάνδρου 3, στην συμβολή με την οδό Τζαβέλλα, και απέχουν 5 λεπτά από την Ακτή Δηλαβέρη και 10 λεπτά από την περιοχή του Μικρολίμανου (Εικόνα 25).



Εικόνα 26 Η τοποθεσία των Ραλλείων Πειραματικών Σχολείων στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά (Google Earth)

Το σχολείο εδώ και αρκετά χρόνια παρουσιάζει έντονη δραστηριότητα για συνεργασίες με άλλους φορείς και συμμετοχή σε διάφορα εκπαιδευτικά προγράμματα, συνέδρια και ημερίδες. Παραδείγματα αποτελούν οι συνεργασίες με πανεπιστημιακές σχολές όπως τα Παιδαγωγικά Τμήματα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, το τμήμα Αγγλικής Γλώσσας και Φιλολογίας, την σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής Και Αθλητισμού, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο κ.α. Επίσης συμμετέχει σε αρκετά καινοτόμα προγράμματα όπως η Εφαρμογή της πιλοτικής δράσης «Εργαστήρια Δεξιοτήτων» στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, το περιβαλλοντικό πρόγραμμα «Αλλάζοντας το κλίμα στο ζήτημα της κλιματικής αλλαγής», το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Erasmus+ και φυσικά πειραματικές εφαρμογές όπως το EuPOLIS. Επίσης, το συγκεκριμένο σχολικό συγκρότημα αποτελείται από ποικιλία εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, κάτι το οποίο

δημιουργεί περαιτέρω κίνητρα για τη διαμόρφωση κατάλληλης υποδομής αστικής διαχείρισης ομβρίων.

Το σχολείο αποτελείται από τα 2 κτήρια αιθουσών, την αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, το προαύλιο, το γήπεδο μπάσκετ, τον κήπο, το αλσύλλιο, τις τουαλέτες των καθηγητών και των μαθητών, το κυλικείο, ένα κουζινάκι, τα γραφεία των καθηγητών, κάποιες άλλες αίθουσες, ένα στέγαστρο και τους χώρους για την επικοινωνία μεταξύ των κτηρίων. Όπως παρατηρούμε, στην Εικόνα 27 και στην Εικόνα 29 το σχολείο διαθέτει δύο χώρους πρασίνου, το αλσύλλιο στην νότια πλευρά και τον κήπο στην είσοδό του. Έτσι, οι χώροι του σχολείου αντιστοιχούν σε **συνολική επιφάνεια 3177,26 m²** εκ των οποίων τα **2542,26 m²** αποτελούν **αδιαπέρατες επιφάνειες** και τα υπόλοιπα **635 m²** **περατές επιφάνειες**. Παρακάτω, παρατίθενται αναλυτικά ο Πίνακας 1 με την αναλυτική εμβαδομέτρηση (m²):

Πίνακας 1 Πίνακας με τις αναλυτικές επιφάνειες που αντιστοιχούν στο σχολείο

Επιφάνειες Σχολείου (m ²)	
Βόρειο Κτήριο Αιθουσών	327,6
Νότιο Κτήριο Αιθουσών	327,1
Αίθουσα Πολλαπλών Χρήσεων	307
Στέγαστρο ανάμεσα στα κτήρια Αιθουσών	34,7
Είσοδος	141
Στέγαστρο	269,3
Κλιμακοστάσιο	23,6
Μπάσκετ	500
Σκαλοπάτια	8,96
Προαύλιο	603
Κήπος	81
Αλσύλλιο	554



Εικόνα 27 Ράλλεια Πειραματικά Σχολεία Πειραιά

Κατά την επίσκεψή μας στον χώρο του σχολείου παρατηρήσαμε την ύπαρξη ασφαλτόπανων σε όλα τα δώματα των κτηρίων, γεγονός που προσδίδει στεγανότητα και διευκολύνει την κατασκευή των φυτοδωμάτων (Εικόνα 28).



Εικόνα 28 Τα ασφαλτόπανα στα δώματα του σχολείου

Η σχολική μονάδα συναποτελείται από τρεις τύπους σχολείων (Δωδεκαθέσιο, Τριθέσιο και Μονοθέσιο) και φιλοξενεί 380 παιδιά, 40 εκπαιδευτικούς και 3 άτομα προσωπικό για τον καθαρισμό των χώρων. Στο σχολείο λειτουργεί ολοήμερο πρόγραμμα με συνολικά 101 εγγεγραμμένους μαθητές. Επίσης κάθε καλοκαίρι πραγματοποιούνται summer camps κατά

τον μήνα Ιούλιο, με συνολικό αριθμό 125 παιδιά, κάτι που έχει μεγάλη σημασία για την μελέτη όπως θα δούμε και παρακάτω.



Εικόνα 29 Οι διάφοροι χώροι του σχολείου, η είσοδος (πάνω αριστερά), το γήπεδο μπάσκετ (πάνω δεξιά), το προαύλιο και το αλσύλλιο (κάτω αριστερά) και ο κήπος (κάτω δεξιά)

Στην περιοχή επικρατούν οι τυπικές συνθήκες του Μεσογειακού κλίματος, με ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια. Το δίκτυο από το οποίο πραγματοποιείται η υδροδότηση του σχολείου βρίσκεται επί της οδού Αλεξάνδρου, και το σχολείο διαθέτει δικό του υδρομετρητή ξεχωριστό από το υπόλοιπο συγκρότημα. Εντός του σχολείου υπάρχουν φρεάτια για την συλλογή των όμβριων νερών (Εικόνα 30). Σημαντική για την μελέτη μας είναι και η σύνδεση ενός αγωγού από το σχολείο με διπλανό σχολείο του συγκροτήματος για την παροχή πόσιμου νερού, με σκοπό την ικανοποίηση κάποιων αναγκών του.

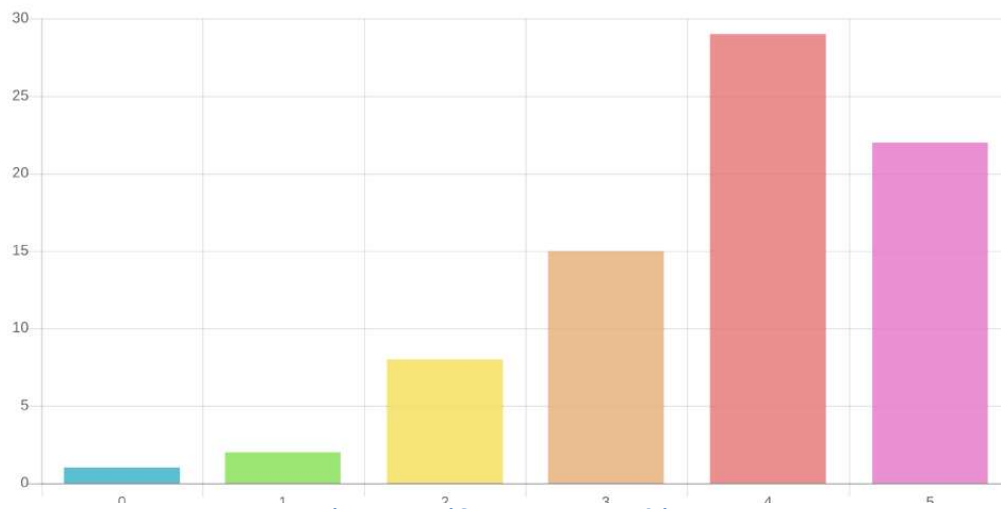


Εικόνα 30 Φρεάτιο αποχέτευσης εντός του σχολείου

3.3 Διαβούλευση με τους κοινωνικούς εταίρους και προτάσεις

Κατά την διάρκεια της μελέτης έγιναν αρκετές διαδικτυακές συναντήσεις, workshops και ημερίδες. Σε αυτά συμμετείχαν όλοι οι συντονιστές του έργου και τα μέλη της ομάδας, εκπρόσωποι του Δήμου Πειραιά, το προσωπικό του σχολείου, ο Σύλλογος Γονέων και Κηδεμόνων αλλά και πολλοί γονείς παιδιών που πηγαίνουν στο σχολείο. Κατά την διάρκεια των συναντήσεων αυτών έγινε πλήρης ενημέρωση για το ερευνητικό πρόγραμμα EuPOLIS και τους στόχους του, όπως επίσης και συζητήθηκαν και οι προτεινόμενες παρεμβάσεις για εφαρμογή στο σχολείο. Έτσι δόθηκε η ευκαιρία σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να υποβάλλουν τις απόψεις, τις παρατηρήσεις και τις απορίες τους για τις αλλαγές που πρόκειται να γίνουν. Επειδή σύμφωνα με την μέθοδο του ερευνητικού προγράμματος EuPOLIS, οι όποιες παρεμβάσεις στοχεύουν στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, θεωρήθηκε σκόπιμο να μπορέσουν όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς να εκφράσουν την άποψή τους, και για αυτό τον λόγο μοιράστηκαν κάποια ερωτηματολόγια τα οποία απαντήθηκαν ανώνυμα και συμπεριλήφθηκαν στην λήψη αποφάσεων (Εικόνα 31).

Τα φυτοδώματα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε υφιστάμενα σπίτια και καταστήματα της περιοχής.



Εικόνα 31 Παράδειγμα ερωτηματολογίου

Μία σημαντική πρόταση ήταν το φυτεμένο δώμα που θα δημιουργηθεί στον πολυχώρο του σχολείου να είναι βατό και επισκέψιμο για να μπορούν τα παιδιά να κάνουν διάφορες δραστηριότητες επάνω σε αυτό.

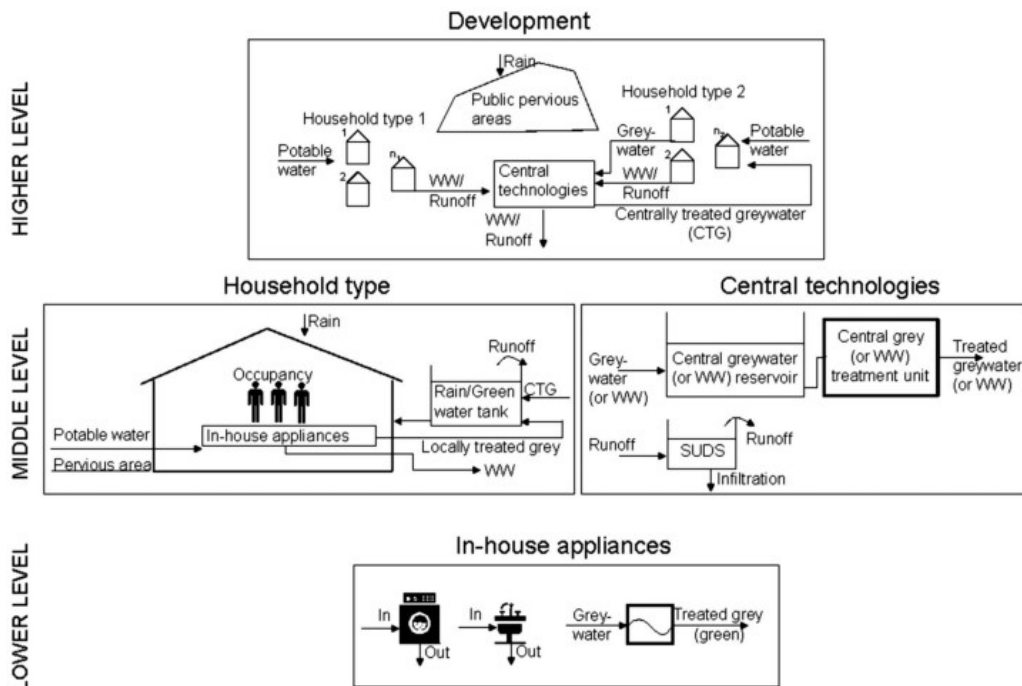
4. Μεθοδολογία

4.1 UWOT (The Urban Water Optioneering Tool)

Για την ολοκληρωμένη προσομοίωση του αστικού κύκλου του νερού έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα, ένα από τα οποία είναι και το UWOT (Μακροπούλος et al., 2008). Πρόκειται για ένα λογισμικό που προσομοιώνει της κύριες ροές νερού (πόσιμο νερό, λύματα και απορροή) αλλά και τα παράγωγα λόγω ανακύκλωσης είδη νερού («γκρι νερό», βρόχινο νερό και «πράσινο» νερό) με την μορφή ζητήσεων σε επίπεδο πόλης και βελτιστοποιεί το υδατικό ισοζύγιο μιας περιοχής από την πηγή (δίκτυο ύδρευσης, ταμιευτήρας) μέχρι την κατανάλωση, υποστηρίζοντας έτσι την εξαγωγή συμπερασμάτων για την βιωσιμότητα των παρεμβάσεων (Rozos and Μακροπούλος, 2012). Ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση βασίζονται σε μεγέθη τα οποία υπολογίζονται από το πρόγραμμα, όπως είναι η συνολική ζήτηση νερού, η συνολική απορροή, την ενέργεια που απαιτείται αλλά και ενδεικτικά κόστη των έργων. Έτσι μπορούν να αναλυθούν τα αποτελέσματα παρεμβάσεων, όπως ένα φυτεμένο δώμα, στην αντιμετώπιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας (urban heat island) και στον στρατηγικό σχεδιασμό συστημάτων διαχείρισης υδατικών πόρων.

Το UWOT έχει σχεδιαστεί με στόχο να μπορούν να προσομοιωθούν και να συγκριθούν διάφορα εναλλακτικά σενάρια, τα οποία χρησιμοποιούν είτε κεντρικά είτε αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης νερού είτε συνδυασμό τους. Έτσι κρίθηκε απαραίτητο να δημιουργηθεί ένας διαχωρισμός του συστήματος στα μέρη του, τα οποία όταν συνδυαστούν συνθέτουν ολόκληρο το υδατικό σύστημα της αστικής περιοχής που βρίσκεται υπό μελέτη. Τα συστατικά του υδατικού συστήματος παρουσιάζονται μέσα στο UWOT με την ιεραρχική δομή τριών επιπέδων (Εικόνα 32) :

1. **Χαμηλό επίπεδο.** Αυτό το επίπεδο αποτελείται από συσκευές μια τυπικής κατοικίας (τουαλέτα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας).
2. **Μεσαίο επίπεδο.** Εδώ υπάρχουν όλες οι συσκευές του προηγούμενου επιπέδου μαζί με κάποιες νέες κεντρικές τεχνολογίες (κεντρική επεξεργασία «γκρι» νερού, κεντρική επεξεργασία λυμάτων). Έτσι κάθε κατοικία περιλαμβάνει τις συσκευές που χρησιμοποιούν νερό, τις υποδομές για την λειτουργία τους (αγωγοί, δεξαμενές) αλλά και ένα σύνολο παραμέτρων που επηρεάζει την ποσότητα του νερού που τελικά αντιστοιχεί στο σπίτι (αριθμός χρηστών, συχνότητα χρήσης, περατές και αδιαπέρατες επιφάνειες)
3. **Υψηλό επίπεδο.** Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνεται η αστική περιοχή μελέτης στο σύνολό της, και μπορεί να εκτείνεται από μία γειτονιά έως ένα χωριό ή μία μικρή πόλη. Η αστική περιοχή αυτή περιγράφεται από τις κατοικίες, τον δημόσιο χώρο (περατό και αδιαπέρατο) αλλά και τα συστήματα επεξεργασία και ανακύκλωσης που υπάρχουν μέσα σε αυτήν.



Εικόνα 32 Ιεραρχία των συσκευών-τεχνολογιών στο UWOT (Rozos E., C. Makropoulos, 2012)

Σημαντική επίσης είναι και η επιλογή του χρονικού βήματος στο πρόγραμμα. Για τις περισσότερες περιπτώσεις όπου γίνεται μακροχρόνια εκτίμηση της βιωσιμότητας κάποιου σχεδιασμού, ο ορισμός ημερήσιου χρονικού βήματος είναι επαρκής, ωστόσο πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα ορισμού μικρότερων ή μεγαλύτερων χρονικών βημάτων (ημερήσιο, ετήσιο, ωριαίο) ανάλογα με την περίπτωση μελέτης. Στην δική μας περίπτωση έγινε η επιλογή ημερήσιου χρονικού βήματος.

Η προσομοίωση στο UWOT αντλεί πληροφορίες από μια βάση δεδομένων που ονομάζεται «Βιβλιοθήκη Τεχνολογίας», όπου είναι καταχωρημένα βασικά χαρακτηριστικά για τυπικές οικιακές συσκευές και συσκευές κλίμακας πόλης. Αφορά τοπικές και κεντρικές εφαρμογές, μερικές από τις οποίες φαίνονται στην Εικόνα 32.

Technology type	Comment	Technology use at:		
		In-house scale	Household scale	Dev. scale
Washing machine	A number of washing machines from different manufacturers with diverse specifications.	X		
Toilet	Different types of toilet cisterns and toilet technologies. Distinction between different types is mainly based on flushing water consumption.	X		
Shower	Different types of shower heads, which can deliver various flow rates. Distinction between different technologies is mainly based on water consumption and user satisfaction.	X		
Bath	Different types of bath tabs. Distinction is mainly based on bath tab holding capacity.	X		
Hand basin	Different types of hand basin tabs. Distinction is based on water flow delivery (laminated or aerated flow) and technique diversion to achieve certain water flow.	X		
Dishwasher	A number of dishwashers from different manufacturers with diverse specifications.	X		
Kitchen sink	Different types of kitchen sink tabs. Distinction is based on water flow delivery (laminated or aerated flow) and technique diversion to achieve certain water flow.	X		
Garden	Techniques and devices used for garden watering.	X		
Outside use	Devices and features for domestic outside use, other than garden watering devices. For example, water tanks, pumps, swimming pools and water fountains.	X		
SUDS local	Sustainable Drainage Systems (SUDS) which can be used at a local scale to serve a property or a small number of properties. Differentiation between SUDS is mainly based on functionality.		X	
SUDS centralised	SUDS which can be used at large scales to serve a region or a catchment area. Differentiation between SUDS is mainly based on functionality.			X
Greywater Treatment local	Decentralised rainwater harvesting and greywater reuse systems at the household level or serve a small number of properties. Differentiation between the systems is based on design specifications.		X	X
Greywater treatment centralised	Greywater treatment and potential recycling at regional or catchment level. Technologies mainly include different types of wastewater treatment plants.			X
Rainwater Treatment Centralised	Rainwater treatment and potential recycling at regional or catchment level. Technologies mainly include different types of rainwater treatment plants.			X

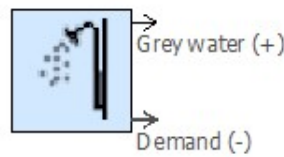
Εικόνα 32 Τεχνολογίες και συσκευές που προσομοιώνονται στο UWOT (Makropoulos et al., 2008)

Για να επιτευχθεί η προσομοίωση, το UWOT χρησιμοποιεί σαν στοιχεία του γνωστές οικιακές συσκευές μιας τυπικής κατοικίας και παρουσιάζει την ζήτησή τους σαν ένα σήμα, το οποίο πολλαπλασιάζεται και μεταφέρεται προς την πηγή. Περιλαμβάνει γραφικό περιβάλλον για Windows που επιτρέπει την εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων και την μεταφορά τους σε υπολογιστικά φύλλα MS Office Excel. Διαθέτει επίσης και κάποιες μονάδες (Loggers) οι οποίες λειτουργούν σαν καταγραφείς των διαφόρων σημάτων, και αποθηκεύουν χρονοσειρές και γραφήματα ποσότητας νερού, ποιότητας νερού, ενέργειας και κόστους τις οποίες έπειτα μπορούμε να εξάγουμε με το πέρας της προσομοίωσης.

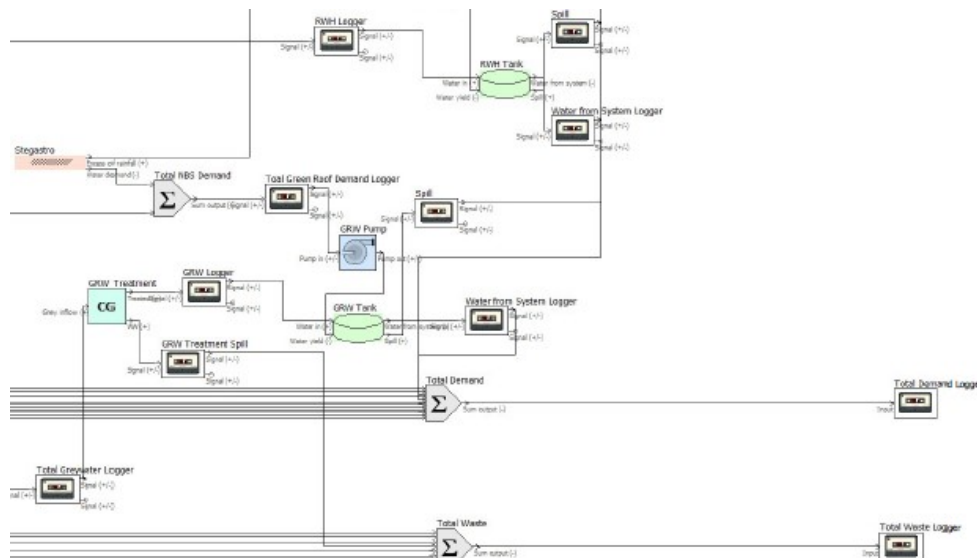
Για την λειτουργία του προγράμματος απαιτούνται κάποια χαρακτηριστικά που θα ορίσουν το αστικό υδατικό σύστημα (Rozos and Makropoulos, 2012):

- Τις οικιακές συσκευές κατανάλωσης (Components), τα εμβαδά επιφανειών (αδιαπέρατων επιφανειών, περατών επιφανειών, επιφανειών συλλογής βρόχινου νερού), χωρητικότητα δεξαμενών.
- Οι προδιαγραφές όλων των παραπάνω συσκευών (Brands), όπως τιμές για την εξατμισοδιαπνοή, την κατανάλωση νερού των συσκευών, την κατανάλωση ενέργειας αλλά και το λειτουργικό κόστος με τις μονάδες τους. Το UWOT διαθέτει κάποιες προεπιλεγμένες τιμές για κάθε συσκευή, ωστόσο παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργήσει κάποιο καινούργιο Brand και επομένως να δημιουργήσει μια νέα συσκευή με καινούργια χαρακτηριστικά.
- Χρονοσειρές βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών ως δεδομένα.
- Χρονοσειρές που αφορούν την εποχιακή διακύμανση του πληθυσμού (demand fluctuation) και του αριθμού των χρηστών (occupancy) για κάθε συσκευή.
- Η συχνότητα χρήσης (frequency) των οικιακών συσκευών, όπου μπορούμε να επιλέξουμε σαν είσοδο είτε χρονοσειρές είτε κάποια σταθερή τιμή.

Κατά την προσομοίωση, η ζήτηση ξεκινά από τις διάφορες οικιακές συσκευές που υπάρχουν στο σύστημα, όπως τουαλέτα, ντουζιέρα, νιπτήρας και εξωτερικές χρήσεις όπως η άρδευση κήπου, και τελικά αθροίζεται για να προκύψει η συνολική ζήτηση σε πόσιμο νερό σε επίπεδο οικίας. Στην συνέχεια, η ζήτηση αυτή ανάγεται στην ζήτηση μιας γειτονιάς και από εκεί ανάγεται στην συνολική ζήτηση της πόλης, αφού προστεθούν και οι υπόλοιπες χρήσεις. Με την ίδια λογική παράγεται και η συνολική ποσότητα των λυμάτων της πόλης, η οποία καταλήγει στο αποχετευτικό σύστημα της, και αντίστοιχα η συνολική απορροή της πόλης που παράγεται από την βροχοπτώση στις περατές και αδιαπέρατες επιφάνειες (Εικόνα 34). Στο UWOT οι συνδέσεις που αφορούν τις ζητήσεις νερού από τις συσκευές, έχουν αντίθετη φορά από την πραγματική, σε αντίθεση με τις συνδέσεις που αφορούν το νερό που παράγεται από τις συσκευές (λύματα, απορροή) που η φορά τους ταυτίζεται με την πραγματική (Εικόνα 33).



Εικόνα 33 Μορφή στοιχείου (ντουζ) στο UWOT όπου φαίνονται οι ροές της ζήτησης και των λυμάτων με τα πρόσημά τους

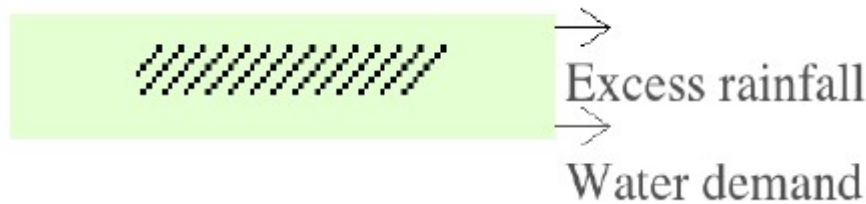


Εικόνα 34 Παράδειγμα προσομοίωσης μοντέλου στο UWOT

Έχοντας σαν δεδομένα τα Χρήστες (Occurancy), Συχνότητα χρήσης(Frequency of Use) και Διακύμανση ζήτησης (Demand Fluctuation), η ζήτηση για κάθε συσκευή υπολογίζεται ως:

$$\text{Τιμή ζήτησης συσκευής ανά χρονικό βήμα} = \text{Χρήστες} \times \text{Διακύμανση ζήτησης} \times \text{Συχνότητα χρήσης συσκευής}$$

Στην δική μας περίπτωση μεγάλη σημασία έχει το στοιχείο **Blue Green** (BG component) που προσομοιώνει τις πράσινες αστικές επιφάνειες. Η συσκευή αυτή απαιτεί σαν δεδομένα εισόδου τις χρονοσειρές των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών και την χρονοσειρά της βροχόπτωσης, από την οποία ικανοποιείται ένα μέρος της ζήτησης του φυτοδώματος. Έτσι το στοιχείο αυτό δέχεται ένα σήμα ζήτησης που αφορά την καθαρή απαίτηση σε άρδευση (water demand), και όχι την συνολική ζήτηση, και στέλνει ένα σήμα που αφορά την περίσσεια από το βρόχινο νερό (excess rainfall) που δεν συγκρατεί και υπερχειλίζει, όταν υπάρξει φαινόμενο βροχόπτωσης (Εικόνα 35).



Εικόνα 35 Μορφή στοιχείου Blue Green στο UWT όπου φαίνονται οι ροές της ζήτησης και της βροχόπτωσης που υπερχειλίζει

Με την χρήση αυτής της «συσκευής» προσομοιώνουμε στην μελέτη μας τα διάφορα φυτοδώματα που θα εξεταστούν με την μέθοδο Thornthwaite στην οποία εισάγει ως δεδομένο την υγρασία του εδαφικού υποστρώματος. Ιδιαίτερα σημαντικοί είναι ο συντελεστής διήθησης f και ο συντελεστής υδατοχωρητικότητας εδάφους K , ο οποίος δεν πρέπει να συγχέεται με τον συντελεστή K_c που αφορά την καλλιέργεια, όπως περιγράφουμε παρακάτω. Ο συντελεστής K αφορά την υδατοχωρητικότητα του εδάφους, και στην περίπτωση μας του εδαφικού υποστρώματος του φυτοδώματος, και μετριέται σε mm. Ο συντελεστής f αναφέρεται στην ποσότητα νερού που διηθείται από το έδαφος και χάνεται κάτω από αυτό και μετριέται σε L/χρονικό βήμα. Οι τιμές των συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη εφαρμογή της μεθοδολογίας δίνονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.4. Έτσι με δεδομένα τον συντελεστή K (mm), την βροχόπτωση με μορφή χρονοσειράς (mm) και την επιφάνεια του φυτοδώματος A (m^2) υπολογίζονται η ζήτηση για άρδευση και η υπερχειλίση της βροχής:

$$Oq_{n_1t} = A \times \max(0, s_{t+1/2} - K) \text{ (ζήτηση άρδευσης)}$$

$$Oq_{n_2t} = -A \times \min(0, s_{t+1/2}) \text{ (υπερχειλίση βροχής)}$$

Στους τύπους αυτούς παρατηρούμε τον συντελεστή $s_{t+1/2}$ (mm) που αφορά την παραμένουσα υγρασία του εδάφους και υπολογίζεται ως:

$$s_{t+1/2} = s_{t-1} + (R_t - ev_t \times (1 - lzp) - nf \times s_{t-1} \times dt) \times (1 \text{ χρονικό βήμα})$$

$$s_t = s_{t+1/2} - \max(0, s_{t+1/2} - K) - \min(0, s_{t+1/2})$$

Όπου το R_t είναι η βροχόπτωση ανά χρονικό βήμα (mm/χρονικό βήμα), ev_t είναι η εξατμισοδιαπνοή υπολογισμένη κατά την μέθοδο Hargreaves, dt είναι το χρονικό βήμα μεταφρασμένο σε ημέρες, n_f είναι το κλάσμα της εδαφικής υγρασίας που διηθείται κάθε ημέρα (day^{-1}) και lzp είναι το κλάσμα της εξάτμισης για την κορεσμένη ζώνη.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η διήθηση ανά χρονικό βήμα (L/time step):

$$Nf_t = A \times (nf \times s_t \times dt - ev_t \times lzp)$$

Τα αποτελέσματα που δίνει το UWO είναι χρονοσειρές, οι οποίες μπορεί να προκύπτουν από τα σήματα ζήτησης των συσκευών, από τα σήματα παραγωγής λυμάτων, από την αποθηκευτικότητα δεξαμενών, αλλά και χρονοσειρές που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας, την διήθηση, την εξάτμιση κτλ. Από την εξαγωγή αυτών των χρονοσειρών γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε περιβάλλον MS Office Excel και υπολογίζονται οι μέσες τιμές διαφόρων μεγεθών (μέση κατανάλωση σε πόσιμο νερό, μέση απορροή) σε ετήσια ή μηνιαία κλίμακα και παράγονται τα αντίστοιχα γραφήματα.

5. Εφαρμογή φυσικών υποδομών για τη διαχείριση του νερού (NBS) στα Ράλλεια Πειραματικά Σχολεία Πειραιά

5.1 Δεδομένα

Αρχικά στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασιών (μέγιστων και ελάχιστων) τα οποία προέκυψαν από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής μελέτης, ο οποίος είναι ο σταθμός «Μαρίνα Αθηνών – Piraeus Athens Marina (PIR_AM)» (2014-2021), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 36.



Εικόνα 36 Τοποθεσία σχολείου αλλά και του μετεωρολογικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκε (Google Earth)

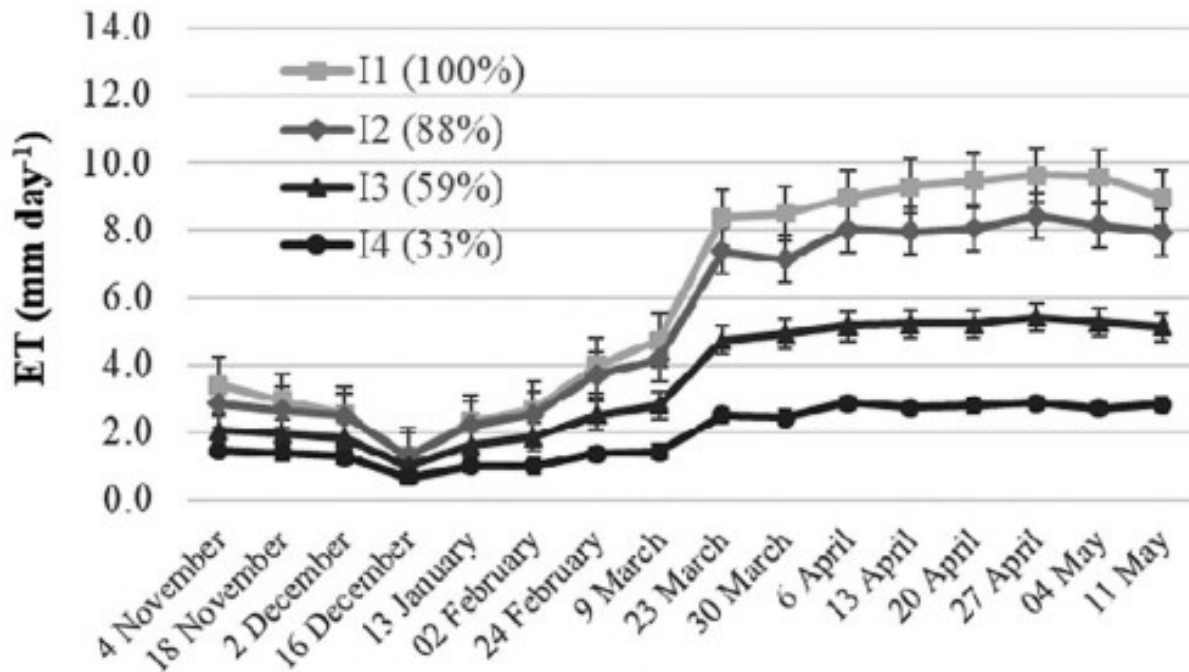
Επίσης, από την Ε.ΥΔ.Α.Π. μας δόθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν την συνολική κατανάλωση νερού για το σχολείο ανά περιόδους (19/07/2017-12/07/2021) με τις οποίες και έγινε η βαθμονόμηση του αρχικού μοντέλου, όπως θα παρουσιαστεί και παρακάτω, δηλαδή της παρούσας κατάστασης του σχολείου.

Για τον υπολογισμό των επιφανειών και των υψομέτρων του σχολείου, η διεύθυνση του σχολείου μας παρέιχε την οικοδομική άδεια του σχολείου μαζί με τα απαραίτητα σχέδια (κατόψεις, τομές, τοπογραφικό διάγραμμα), ενώ μαζί με αυτά η διεύθυνση μας έδωσε διευκρινιστικά στοιχεία που αφορούν τους χώρους του σχολείου, την λειτουργία του όπως για παράδειγμα το ωράριό του, τον αριθμό των μαθητών και καθηγητών από τους οποίους αποτελείται το σχολείο, με σκοπό τον υπολογισμό των χρηστών του, αλλά και την διοργάνωση εκδηλώσεων (Summer Camps) οι οποίες κρίθηκαν αναγκαίο να συμπεριληφθούν στην μελέτη λόγω της σημαντικής τους επίδρασης στην συνολική κατανάλωση νερού του σχολείου.

Τέλος, σημαντικά ήταν και τα δεδομένα που προέκυψαν από εταιρεία που ασχολείται με την κατασκευή φυτοδωμάτων και συστημάτων ανακύκλωσης νερού, τα οποία μας έδωσαν μια σαφή εικόνα για την μορφή και τις μέσες ανάγκες των φυτοδωμάτων σε νερό που θα κατασκευαστούν στο σχολείο αλλά και της λειτουργίας των αποστραγγιστικών μεμβρανών (αυγουλιέρες) και πώς αυτές επηρεάζουν συνολικά τα φυτοδώματα. Για παράδειγμα, μας ενημέρωσαν για το πάχος του εδαφικού υποστρώματος του φυτοδώματος, το οποίο συνήθως κυμαίνεται στα 10 έως 12 cm ενώ η αποστραγγιστική μεμβράνη στα 2,5 cm ανάλογα και με τον τύπο φυτοδώματος (εκτατικού, ημιεντατικού). Επίσης, η υδατοχωρητικότητα του υποστρώματος βρίσκεται μεταξύ 35-40 L/m² και η παραμένουσα υγρασία του στα 3-17 L/m², από το οποίο για την δική μας εφαρμογή η ιδανική τιμή είναι τα 3 L/m² λόγω του μικρού πάχους του υποστρώματος που έχουμε. Ακόμη, μας παρείχαν πληροφορίες για την λειτουργία των αυγουλιέρων, όπου σε φαινόμενα βροχόπτωσης το 95% του βρόχινου νερού απορρέει από ένα περιμετρικό κανάλι (ρείθρο) και δεν το εκμεταλλευόμαστε, ενώ λόγω της ξεχωριστής λειτουργίας των αποστραγγιστικών μεμβρανών, το υδατοπερατό δάπεδο δεν επικοινωνεί υδρολογικά με το υπόλοιπο φυτοδώμα, με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται το νερό που διηθείται από το υδατοπερατό δάπεδο για άρδευση, μέσω της πλήρωσης του υποστρώματος. Υπολογίσαμε την δυνητική εξατμισοδιαπνοή με χρήση της μεθόδου Penman-Monteith κατά FAO-56 (Allen et al., 1998). Τα απαραίτητα δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου σε μηνιαίο βήμα είναι:

- i. Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες
- ii. Σχετική υγρασία
- iii. Ταχύτητα ανέμου
- iv. Ηλιοφάνεια

Τα δεδομένα αυτά τα γνωρίζαμε από τον μετεωρολογικό σταθμό Μαρίνα Αθηνών – Piraeus Athens Marina (PIR_AM) εκτός από την σχετική υγρασία την οποία εκτιμήσαμε εμμέσως από την ελάχιστη θερμοκρασία σύμφωνα με την διαδικασία που προτείνεται από τον Allen (Allen et al., 1998). Με την χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα και έτος, ενώ υπολογίστηκε και η αντίστοιχη βροχόπτωση για κάθε μήνα και έτος. Από εκεί, δημιουργήθηκε ένας πίνακας σε λογιστικά φύλλα MS Office Excel (Εικόνα 38), στον οποίο υπολογίσαμε την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, πολλαπλασιάζοντας την δυνητική με έναν συντελεστή K_c (plant coefficient), και την ενεργό βροχόπτωση (αυτή που πραγματικά εκμεταλλεύεται το δώμα) για την δική μας καλλιέργεια, σύμφωνα με δεδομένα από άλλες δημοσιεύσεις (Hancioglu N.E. et al., 2020). Συγκεκριμένα, προκύπτει ένας μέσος συντελεστής καλλιέργειας K_c , τον οποίο στην δική μας περίπτωση τον θεωρήσαμε 0,5 όπως φαίνεται και από την Εικόνα 37, και θεωρώντας τα αποτελέσματα της έρευνας του Hancioglu N.E., που αφορά την καλλιέργεια ρίγανης, ως αντιπροσωπευτικά της ποικιλίας αρωματικών και άλλων ενδημικών φυτών με τα οποία θα φυτευτεί το φυτοδώμα. Έτσι, καταλήξαμε στην αναγκαία ποσότητα άρδευσης για κάθε μήνα από την οποία υπολογίστηκε η καθαρή (χωρίς βροχόπτωση, με υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής) μέση ετήσια ανάγκη σε νερό του φυτεμένου δώματος του πολυχώρου του σχολείου στα 59 m³. Σύμφωνα με αυτή την τιμή έγινε και επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.



Εικόνα 37 Υπολογισμός συντελεστή K για την πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ρίγανης (Hancioglu N.E. et al., 2020)

	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	Sum
POT EVAP (mm)	76.9	48.6	38.3	41.6	47.4	71.3	96.3	131.8	163.6	188.4	174.2	119.1	1197.5
K CROP (-)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
CROP EVAP (mm)	38.46	24.28	19.17	20.81	23.68	35.67	48.15	65.89	81.78	94.21	87.09	59.55	598.7
RAIN (mm)	30.97	48.94	65.94	33.71	27.97	37.49	17.6	18.2	25.17	9.14	2.29	21.97	339.4
EFFRAIN (mm)	12.10	27.82	42.70	14.50	9.47	17.80	0.40	0.93	0.47	0.00	0.00	4.22	130.4
IRR REQ	26.36	-3.55	0.00	6.31	14.21	17.86	47.75	64.96	81.32	94.21	87.09	55.33	491.9
AREA (m ²)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
VOL. (m ³)	3.16	-0.43	0.00	0.76	1.70	2.14	5.73	7.80	9.76	11.30	10.45	6.64	59.0

Εικόνα 38 Υπολογισμός μέσης ετήσιας καθαρής ανάγκης σε νερό του φυτεμένου δώματος του πολυχώρου

Τα δεδομένα αυτά ήταν απαραίτητα για την παραγωγή των χρονοσειρών που σε συνδυασμό με κάποιες λογικές παραδοχές των παραμέτρων του προγράμματός μας (UWOT), η οποίες παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 5.4, μας οδήγησε στην επιτυχή προσομοίωση του συστήματός μας.

5.2 Μετρήσεις

Ιδιαίτερη σημασία κατείχαν οι επισκέψεις και οι μετρήσεις που έγιναν στην περιοχή μελέτης σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, με σκοπό την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των προτάσεων.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μια επίσκεψη στο σχολείο με στόχο την διερεύνηση των χώρων του και την λήψη φωτογραφιών, κάτι το οποίο μας βοήθησε αρκετά στην συνέχεια στις επιλογές για την χωροθέτηση των έργων και την αποτύπωση των χώρων του σχολείου. Στις επισκέψεις αυτές συμμετείχε και ο διευθυντής του σχολείου ο οποίος και μας ενημέρωσε για την υφιστάμενη κατάσταση και μας παρείχε πρόσβαση στα δώματα που θα φυτευτούν. Κατά την πρόσβασή μας στα δώματα διαπιστώθηκε η ύπαρξη ασφαλτόπανου στην επιφάνεια τους (Εικόνα 39) κάτι το οποίο συμβάλλει στην στεγανοποίησή τους.



Εικόνα 39 Δώμα μεταξύ των 2 κτηρίων αιθουσών που καλύπτεται από ασφαλτόπανο

Στη συνέχεια, καθοριστικές για τον σχεδιασμό και τις επιλογές των παρεμβάσεων υπήρξαν οι επιτόπιες μετρήσεις κατανάλωσης που έγιναν την περίοδο του Μαΐου-Ιουνίου 2021, διάστημα στο οποίο το σχολείο λειτουργούσε κανονικά. Συγκεκριμένα μετρήθηκε έμμεσα η κατανάλωση των 2 εξωτερικών συστοιχιών από βρύσες με πόσιμο νερό, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως από τους μαθητές του σχολείου, με σκοπό τον υπολογισμό του διαθέσιμου «γκρι» νερού Εικόνα 40. Για την αποτελεσματικότερη διεξαγωγή των μετρήσεων, αυτές μοιράστηκαν σε δύο εβδομάδες όπου και κάθε εβδομάδα αντιστοιχούσε σε μετρήσεις σε μία συγκεκριμένη συστοιχία.



Εικόνα 40 Νότια συστοιχία βρυσών στο προαύλιο του σχολείου

Για το λόγο αυτό, πρώτα υπολογίστηκε η παροχетеυτικότητα της κάθε συστοιχίας βρυσών με χρήση φιάλης γνωστού όγκου και χρονομέτρου. Έπειτα, κατά την διάρκεια των διαλλειμάτων μετρήθηκε, σύμφωνα με ένα πρόγραμμα που καταρτίστηκε, η συχνότητα ανοίγματος των βρυσών και ο μέσος χρόνος ανοίγματός τους, εναλλάξ σε κάθε διάλλειμα και με διαφορετική σειρά κάθε ημέρα για να καλυφθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις. Από τις παρατηρήσεις εξάγαμε αποτελέσματα για την παροχетеυτικότητα των βρυσών, η οποία προσδιορίστηκε στα 0,058 L/σγια την βορειοανατολική συστοιχία βρυσών και στα 0,06 L/σγια την νότια συστοιχία βρυσών. Επίσης η συχνότητα ανοίγματος των βρυσών προσδιορίστηκε στις 162/εβδομάδαγια την βορειοανατολική συστοιχία και στις 138/εβδομάδαγια την νότια συστοιχία βρυσών, ενώ ο μέσος χρόνος ανοίγματος των βρυσών στις 16,6σγια την βορειοανατολική συστοιχία και στις 15,6 σγια την νότια συστοιχία βρυσών. Για την καταγραφή όλων αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε σημειωματάριο το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 41. Με βάση αυτά υπολογίσαμε την κατανάλωση ανά χρήση της κάθε συστοιχίας βρυσών, στα 0,963 L/χρήση για την βορειοανατολική συστοιχία βρυσών και στα 0,94 L/χρήση για την νότια συστοιχία βρυσών.

Πρόγραμμα παρατήρησης αποτελέσματα (Βόρεια/Βορειοανατολική Συστοιχία)

Διάλλειμα	Ανοίγμα πρωινό	Ώρα πρωινό	Συνθρακική Ποσότητα πρωινό	Ώρα πρωινό	Κατανομή πρωινό	Τέλεμα
1ο	5	23,25	18	10,6	21	Απόγευμα
2ο	28,5	9	14,4	45	16,6	Πρώτο δείπνο
3ο	7	15,23	23	13,5	5	
4ο	-	16	10,7	15	-	

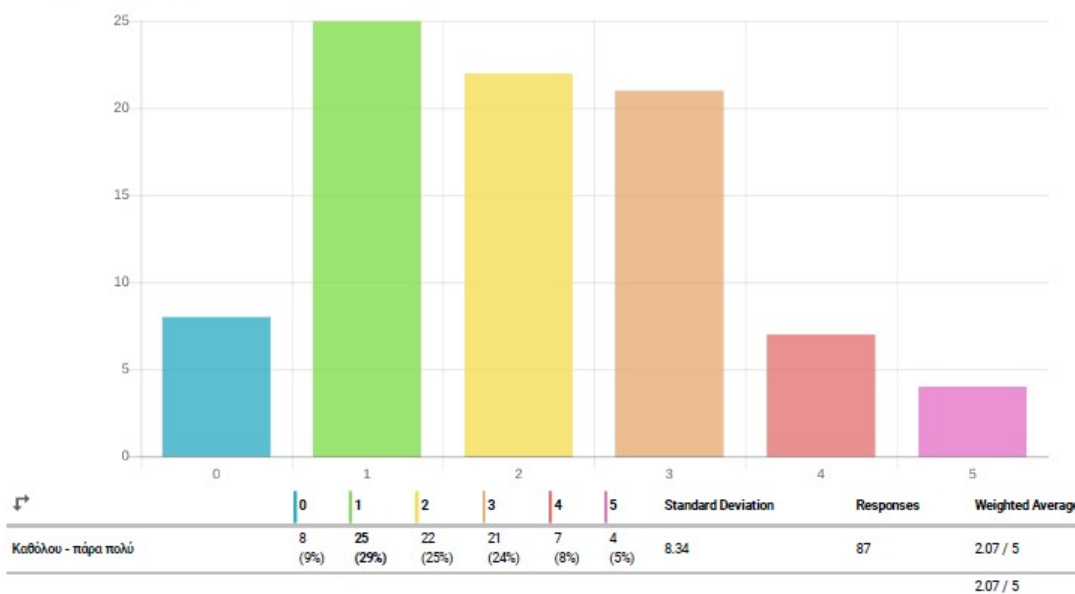
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΜΟ
Βορειοανατολική Συστοιχία (ανά απογευμα)	μεγίστη πίεση	ανοίγει η φιάλη	-	-	2,5 s	4,85 s	3,17 s	3,3 s	5 s	3,76 s
	28 s	28 s	-	-	20 s	28 s	22 s	12 s	13,3 s	17,5 s
	38 s	34 s	-	-	24 s	25,4 s	26,3 s	17 s	21,9 s	26,5 s
	1,55 s	22 s	-	-	17,5 s	18,4 s	17 s	28,6 s	15 s	17,55 s
	34 s	18,5 s	-	-	19 s	22,3 s	20 s	14 s	12,3 s	17,2 s

	1	2	3	4	5	6	7	ΜΟ	ΔΕ
Νότια Συστοιχία (ανά απογευμα)	2,5 s	-	3 s	ανοίγει η φιάλη	10,7 s	2,77 s	8,5 s	5,16 s	0,19 L/s
	1,5 s	-	20 s	19,3 s	17,5 s	16 s	11 s	16,6 s	0,06 L/s
	25 s	-	25 s	ανοίγει η φιάλη	1,1 s	10,7 s	20,9 s	28,5 s	0,082 L/s
	-								
	-								

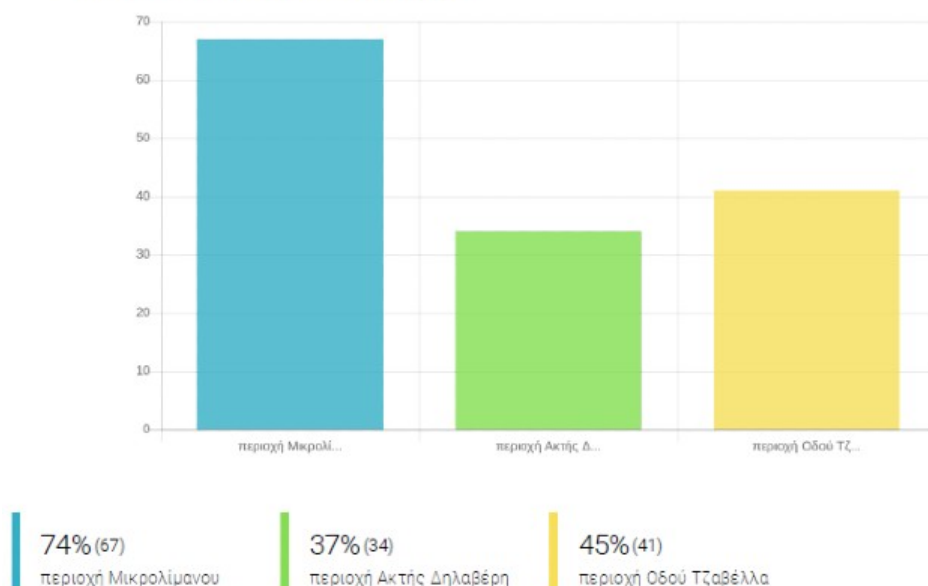
Εικόνα 41 Το σημειωματάριο αλλά και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν

Τέλος, μεγάλο ενδιαφέρον είχαν και τα ανώνυμα ερωτηματολόγια Εικόνα 42τα οποία δημιουργήθηκαν και δόθηκαν στους κοινωνικούς εταίρους, όπως την Διοίκηση του σχολείου, τον Σύλλογο γονέων και κηδεμόνων και τον Δήμο Πειραιά, που αποτέλεσαν σημαντική πηγή δεδομένων για την υφιστάμενη κατάσταση της χρήσης τω υποδομών της περιοχής, τα χαρακτηριστικά των τοπικών ομάδων ενδιαφέροντος, στις οποίες έδωσαν την δυνατότητα να εκφράσουν την άποψη τους για το σχολείο και τις παρεμβάσεις που πρόκειται να γίνουν.

Η διέλευση των πεζών στην περιοχή είναι ασφαλής (ασφαλή πεζοδρόμια, κατάλληλη σήμανση, κοκ)



3 Κατά την επίσκεψή σας στην παραπάνω περιοχή, επισκέπτεστε συνδυαστικά και κάποια ή κάποιες από τις παρακάτω περιοχές;



Εικόνα 42 Δείγμα από τα ερωτηματολόγια που δόθηκαν

5.3 Εφαρμογή μοντέλου σε περιπτώσεις μελέτης

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν συνολικά 10 διαφορετικά σενάρια για την εφαρμογή του μοντέλου της πράσινης στέγης στο σχολείο. Αρχικά προσομοιώθηκε η υπάρχουσα κατάσταση του σχολείου (Εικόνα 43), με σκοπό να γίνει και βαθμονόμηση του μοντέλου, που ονομάστηκε Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario), και στην συνέχεια μελετήθηκαν 10 σενάρια, που ονομάστηκαν Σενάρια NBS (NBS Scenarios), εκ των οποίων 6 σενάρια είναι πιο θεωρητικά και 4 σενάρια έχουν μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον, στα οποία λήφθηκαν υπόψη περισσότερες κατασκευαστικές παράμετροι, ώστε να αποτελέσουν και τα προτεινόμενα σενάρια τελικά προς υλοποίηση στο έργο.



Εικόνα 43 Η υπάρχουσα κατάσταση στο σχολείο-Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario) (Google Earth)

Ο διαχωρισμός των Σεναρίων NBS έγινε τόσο ως προς τα δώματα που επιλέχθηκαν να φυτευτούν αλλά και ως προς τον τρόπο άρδευσής τους. Ως προς τα φυτεμένα δώματα, παρατίθενται οι ακόλουθες τρεις (3) πιθανές περιπτώσεις ανάμεσα στις οποίες θα μπορούσε να γίνει η επιλογή:

- **Low:** Φύτευση μόνο του δώματος της Αίθουσας Πολλαπλών Χρήσεων
- **Medium :** Φύτευση του δώματος της Αίθουσας Πολλαπλών Χρήσεων, του Ανατολικού Στεγαστρου, και του Διαδρόμου που ενώνει το Βόρειο με το Νότιο Κτήριο Αιθουσών
- **High :** Φύτευση όλων των δωματίων που υπάρχουν στο σχολείο εκτός του δώματος του Νότιου Κτηρίου Αιθουσών

Ως προς το σύστημα τροφοδότησης νερού στα φυτεμένα δώματα διακρίνονται τέσσερις(4) διαφορετικές περιπτώσεις μεταξύ των οποίων θα μπορούσε να γίνει επιλογή:

- **Potable Water (Pot)** :Χρήση μόνο πόσιμου νερού από το δίκτυο για την άρδευση των εκάστοτε δωματίων
- **Greywater Reuse (GWR)** :Χρήση γκρι νερού των εξωτερικών βρυσών νερού, γκρι νερού των εσωτερικών βρυσών/νιπτήρων νερού στις τουαλέτες και του πόσιμου νερού από το δίκτυο για την άρδευση των εκάστοτε δωματίων
- **Rainwater Harvesting (RWH)** : Χρήση βρόχινου νερού και πόσιμου νερού από το δίκτυο για την άρδευση των εκάστοτε δωματίων
- **Rainwater Harvesting, Greywater Reuse, Potable Water (All)**: Χρήση γκρι νερού εξωτερικών βρυσών νερού, γκρι εσωτερικών βρυσών νερού στις τουαλέτες, βρόχινου νερού και πόσιμου νερού από το δίκτυο για την άρδευση των εκάστοτε δωματίων

Στα Σενάρια NBSπροσομοιώθηκε και η περίπτωση όπου η άρδευση των φυτοδωματίων γίνεται εξολοκλήρου από πόσιμο νερό από το δίκτυο (Pot) για να μπορέσει να γίνει η σύγκριση με τις περιπτώσεις συστημάτων επαναχρησιμοποίησης νερού, οπότε δεν θεωρήθηκαν ως ξεχωριστά σενάρια.

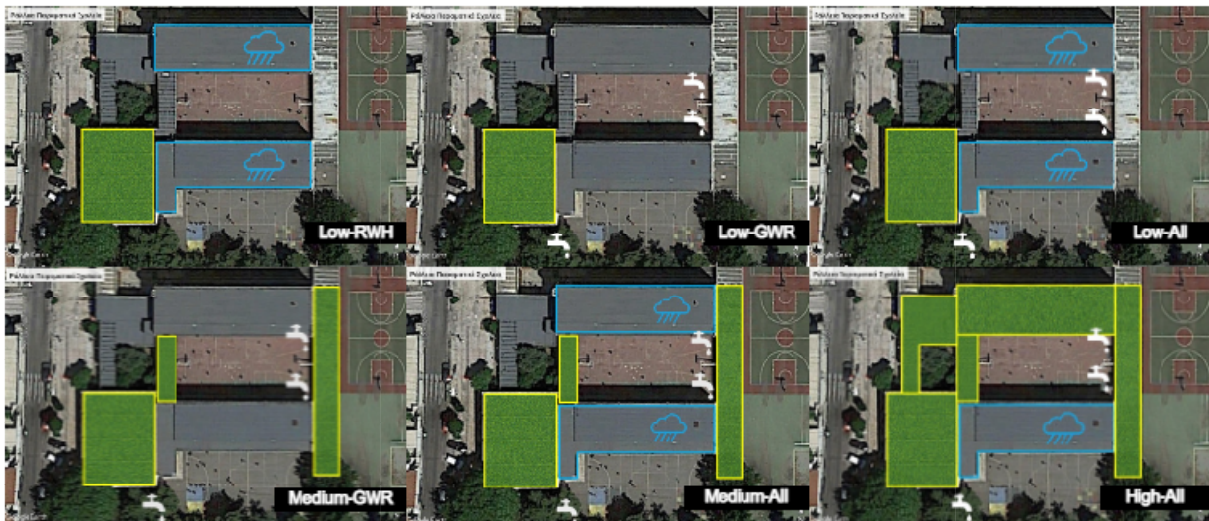
Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση έγινε συνδυασμός μεταξύ των σεναρίων φύτευσης των δωματίων και των σεναρίων άρδευσης τους για να καταλήξουμε στα συνολικά δέκα (10) σενάρια, έξι (6) θεωρητικά και τέσσερα (4) πρακτικά όπως παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω.

5.3.1 Θεωρητικά Σενάρια

Στον Πίνακα 2 και την Εικόνα 44 παρουσιάζονται τα έξι (6) θεωρητικά σενάρια που διερευνήθηκαν. Η επιλογή για τα μοντέλα προσομοίωσης, δηλαδή με χρήση γκρι ή βρόχινου νερού, στην περίπτωση του Mediumσεναρίου έγινε με βάση την αυτονομία που προέκυψε στα αποτελέσματα του Lowσεναρίου όπου συμπεράναμε ότι ήταν μεγαλύτερη με την χρήση του γκρι νερού. Έτσι εκτός από την περίπτωση με τον συνδυασμό και των δύο ροών, θεωρήσαμε πως θα ήταν πιο αποδοτικό να εφαρμοστεί και η περίπτωση όπου θα έχουμε μόνο ανακύκλωση γκρι νερού.

Πίνακας 2 Περιπτώσεις Θεωρητικών σεναρίων

ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΣ ΝΕΡΟΥ	Pot	GWR	RWH	All
ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ				
Low(2 δώματα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓	✓	✓	✓
Medium(2 δώματα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓	✓		✓
High(1 δώμα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓			✓



Εικόνα 44 Σχηματική απεικόνιση των Θεωρητικών σεναρίων (Google Earth)

5.3.2 Πρακτικά Σενάρια

Στον Πίνακα 3 και την Εικόνα 45 παρουσιάζονται τα τέσσερα (4) πρακτικά σενάρια που διερευνήθηκαν.

Πίνακας 3 Περιπτώσεις Πρακτικών σεναρίων

ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΣ ΝΕΡΟΥ	Pot	GWR	RWH	All
	ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ			
Low (1 δώμα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓		✓	
Low (2 δώματα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓		✓	
Medium (1 δώμα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓			✓
Medium (Με χρήση γκρι νερού στα καζανάκια του WCτων μαθητών και 1 δώμα για συλλογή βρόχινου νερού)	✓			✓



Εικόνα 45 Σχηματική απεικόνιση των Πρακτικών σεναρίων (Google Earth)

Πιο αναλυτική περιγραφή του κάθε σεναρίου αλλά και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του γίνεται στο Κεφάλαιο 6.

5.4 Παραδοχές περιπτώσεων μελέτης

Για την επιτυχή προσομοίωση των διαφόρων σεναρίων στο σχολείο, έγιναν αρκετές παραδοχές που πρέπει να επισημανθούν. Αυτές ήταν διαφορετικές για κάθε τύπο σεναρίου και προέκυψαν από τα δεδομένα που είχαμε, από μετρήσεις, από λογικές εκτιμήσεις, από έτοιμες τιμές που διαθέτει το πρόγραμμα (UWOT) αλλά και δοκιμάζοντας διαφορετικές τιμές παραμέτρων και τροποποιώντας τις αναλόγως με το αποτέλεσμα που αναμέναμε. Σε πολλές περιπτώσεις δημιουργήθηκαν καινούργια Brands στο UWOT με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Επίσης, σημαντικές είναι και οι χρονοσειρές των κλιματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν όπως αναφέρεται και στο υποκεφάλαιο 5.1.

5.4.1 Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario)

Για την προσομοίωση της υπάρχουσας κατάστασης του σχολείου του σχολείου εισήχθησαν στο μοντέλο οι ακόλουθες συσκευές: 2 εξωτερικές βρύσες (Hand Basin), 1 τουαλέτα καθηγητών (WC), 1 τουαλέτα μαθητών (WC), 1 νιπτήρας στην τουαλέτα των μαθητών (Hand Basin), 1 νιπτήρας στην τουαλέτα των καθηγητών (Hand Basin), 1 κουζίνα (Kitchen Sink), 1 εξωτερική χρήση (OU), 1 κήπος (Garden), η παροχή στο δίπλα σχολείο (Input) και οι επιφάνειες του σχολείου (Impervious area) με τελικές παραμέτρους όπως φαίνονται παρακάτω. Σημαντική παρατήρηση είναι η παροχή νερού μέσω του σχολείου σε διπλανό σχολείο του συγκροτήματος, κάτι που επηρεάζει τις συνολικές καταναλώσεις του σχολείου. Έτσι η παροχή αυτή προσομοιώθηκε με μια σταθερή ζήτηση σύμφωνα με τις εκτιμώμενες ανάγκες που ικανοποιούνται στο διπλανό σχολείο μετά από τηλεφωνική επικοινωνία με τον Διευθυντή. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε πως το νερό χρησιμοποιείται για τις εξωτερικές βρύσες και την κουζίνα του διπλανού σχολείου. Έτσι, σύμφωνα και με τις παραδοχές που φαίνονται στον Πίνακα 4, προέκυψε συνολική ημερήσια ζήτηση του διπλανού σχολείου ίση με 400 L/d.

Πίνακας 4 Περιπτώσεις Πρακτικών σεναρίων

	Συχνότητα Χρήσης (Frequency of Use)	Διακύμανση Ζήτησης (Demand Fluctuation)	Χρήστες (Occurancy)	Ειδική κατανάλωση συσκευής (Brands)
Εξωτερικές Βρύσες (Νότια Συστοιχία)	2 /ημέρα	1	190 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 63 στα summer camps (χρονοσειρά)	0,94 L/χρήση
Εξωτερικές Βρύσες (Βορειοανατολική Συστοιχία)	2 /ημέρα	1	190 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 63 στα summer camps (χρονοσειρά)	0,963 L/χρήση
Νιττήρες WC μαθητών	2 /ημέρα	1	380 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 125 στα summer camps (χρονοσειρά)	0,963 L/χρήση
Νιττήρες WC καθηγητών	2 /ημέρα	1	40 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 15 στα summer camps (χρονοσειρά)	0,8 L/χρήση
WC μαθητών	1 /ημέρα	1	380 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 125 στα summer camps (χρονοσειρά)	9 L/χρήση
WC καθηγητών	2 /ημέρα	1	40 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 15 στα summer camps (χρονοσειρά)	9 L/χρήση
Νεροχύτης κουζίνας	1 /ημέρα	1	20 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου 20 στα summer camps (χρονοσειρά)	2,1 L/χρήση
Κήπος	1 / 5 ημέρες το χειμώνα 1 / 3 ημέρες το καλοκαίρι (χρονοσειρά)	1	1	81 L/χρήση
Εξωτερικές χρήσεις	1 / 15 ημέρες 0 το καλοκαίρι σε μη λειτουργία του σχολείου (χρονοσειρά)	1	1	500 L/χρήση
Εξωτερικές Βρύσες διπλανού σχολείου	1 / ημέρα	1	1	0,963 L/χρήση
Κουζίνα διπλανού σχολείου	0,5 / ημέρα	1	190 σε λειτουργία σχολείου 0 σε μη λειτουργία σχολείου (χρονοσειρά)	2,1 L/χρήση

Πίνακας 5 Παραδοχή εξάτμισης αδιαπέρατων επιφανειών του σχολείου

	Εξάτμιση βροχόπτωσης (Evaporation)
Αδιαπέρατες επιφάνειες	30.00%

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε και τις διαφορετικές παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στην βαθμονόμηση του Baseline Scenario, το οποίο έγινε σε 2 ξεχωριστές εκδοχές όπως θα εξηγήσουμε αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 6. Έτσι για τις 2 αυτές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν οι παραπάνω παραδοχές, με τις διαφορές που φαίνονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 Αλλαγές στις παραδοχές για τις 2 περιπτώσεις βαθμονόμησης

	Διαφορετικές παραδοχές σεναρίων βαθμονόμησης	
	Συχνότητα Χρήσης (Frequency of Use)	
	Version 1	Version 2
WC μαθητών	1 /ημέρα	0,5 /ημέρα
Εξωτερικές χρήσεις	1 / 15 ημέρες 0 το καλοκαίρι σε μη λειτουργία του σχολείου (χρονοσειρά)	1 / 15 ημέρες 0 το καλοκαίρι σε μη λειτουργία του σχολείου 1/15 ημέρες ακόμα και την περίοδο από 10/2020 και έπειτα όταν υπήρχε καραντίνα (χρονοσειρά)

5.4.2 Σενάρια NBS (NBS Scenarios)

Για την προσομοίωση των σεναρίων NBS (NBS Scenarios) χρησιμοποιήθηκαν όλες οι ίδιες συσκευές/brands και ισχύουν οι ίδιες παραδοχές που έγιναν στο σενάριο αναφοράς (Baseline Scenario) με την προσθήκη των παρεμβάσεων που προτάθηκαν στο κάθε σενάριο. Έτσι προστέθηκαν ακόμα σαν στοιχεία του μοντέλου τα φυτοδώματα (Blue Green (BG) component) χωριστά για κάθε σενάριο σε εκτατικού και ημιεντατικού τύπου, οι ζαρντινιέρες και το υδατοπερατό δάπεδο της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων (Blue Green (BG) component), οι επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (Impervious areas), οι δεξαμενές RWH και GWR (RWH Tank, GWR Tank), η μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού (Central greywater) και οι αντλίες για την παροχή του ανακυκλωμένου νερού (Pump), όλα με τις δικές τους παραδοχές όπως φαίνονται παρακάτω.

Σημαντική είναι η παραδοχή που έγινε για τις τιμές της υδατοχωρητικότητας και διήθησης του εδαφικού υποστρώματος των φυτοδωμάτων (πίνακας). Η διήθηση αναφέρεται στην ποσότητα νερού που διαφεύγει από το έδαφος και κατευθύνεται κάτω από αυτό ενώ η υδατοχωρητικότητα στην ικανότητα του υποστρώματος να συγκρατεί ποσότητα νερού στους πόρους του αφού έχει αποβάλλει την περίσσεια βροχόπτωσης ή άρδευσης αποθηκεύοντας έτσι αυτή την ποσότητα νερού για να την χρησιμοποιήσει για κάποια μελλοντική ανάγκη (άρδευση). Εδώ πρέπει να επισημάνουμε, πως στο UWOT δεν υπήρχε τρόπος να εκμεταλλευτούμε την ποσότητα νερού που διηθείται από το φυτοδώμα αφού το στοιχείο Blue Green δεν διαθέτει κάποιο σήμα για την διήθηση. Για αυτό τον λόγο θεωρήσαμε μια αυξημένη υδατοχωρητικότητα του εδαφικού υποστρώματος, μέσω του συντελεστή K, ώστε να συμπεριλάβουμε και το νερό που μπορούν να αποθηκεύσουν οι αποστραγγιστικές μεμβράνες (αυγουλιέρες). Έτσι οι τιμές των δύο μεγεθών υπολογίστηκαν με δοκιμές με σκοπό να επιτύχουμε την καθαρή ζήτηση για το φυτοδώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων στα 59 m^3 , όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 3. Η διήθηση προσομοιώνεται με τον συντελεστή fγια το φυτοδώμα, για τον οποίο έγινε η παραδοχή ότι το 30% του νερού που αποθηκεύεται στις αποστραγγιστικές μεμβράνες χάνεται, κάτι που βελτιώνει συνολικά την βαθμονόμηση. Ο τρόπος υπολογισμού και ο έλεγχός τους παρουσιάζεται και στο Κεφάλαιο 6. Άλλη μια ιδιαίτερη παραδοχή σχετίζεται με την χωρητικότητα της δεξαμενής συλλογής βρόχινου νερού (). Αν και υπολογίστηκε πως το ιδανικό μέγεθος δεξαμενής είναι τα 8 m^3 , όπως παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω (Κεφάλαιο 5.5), προτιμήθηκε δεξαμενή χωρητικότητας 10 m^3 επειδή σε κάποια σενάρια

αυτή η δεξαμενή θα χρησιμοποιούνταν και για συλλογή γκρι νερού, οπότε θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη.

Πίνακας 7 Συντελεστές για τα εδαφικά υποστρώματα των φυτοδωμάτων

	Υδατοχωρητικότητα εδαφικού στρώματος (K)	Διήθηση εδαφικού στρώματος (f)
Φυτοδώμα Εκτατικού τύπου	35 mm	0,3 L/ημέρα
Φυτοδώμα Ημιεντατικού τύπου	70 mm	0,3 L/ημέρα
Ζαρντινιέρες Αίθουσας πολλαπλών χρήσεων	30 mm	0 L/ημέρα

Πίνακας 8 Ικανότητα Μονάδας Επεξεργασίας γκρι νερού

	Όγκος επεξεργασίας (Brand)
Μονάδα Επεξεργασίας γκρι νερού (Central Greywater)	30 m ³ /d

Πίνακας 9 Καταναλώσεις ενέργειας συσκευών (Besson et al., 2021, Hydralooop)

	Ειδική κατανάλωση ενέργειας (Brand)
Μονάδα Επεξεργασίας γκρι νερού (Central Greywater)	1 kWh/m ³
Αντλίες (Pump)	0,004 kWh/m ³ /m

Πίνακας 10 Χωρητικότητες δεξαμενών

	Χωρητικότητα (Capacity)
Δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού (RWH)	10 m ³
Δεξαμενή συλλογής γκρι νερού (GWR)	2 m ³
Μονάδα Επεξεργασίας γκρι νερού (Central Greywater)	2 m ³

Πίνακας 11 Παραδοχές εξάτμισης επιφανειών

	Εξάτμιση βροχόπτωσης (Evaporation)
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού	30.00%
Υδατοπερατό δάπεδο	10.00%

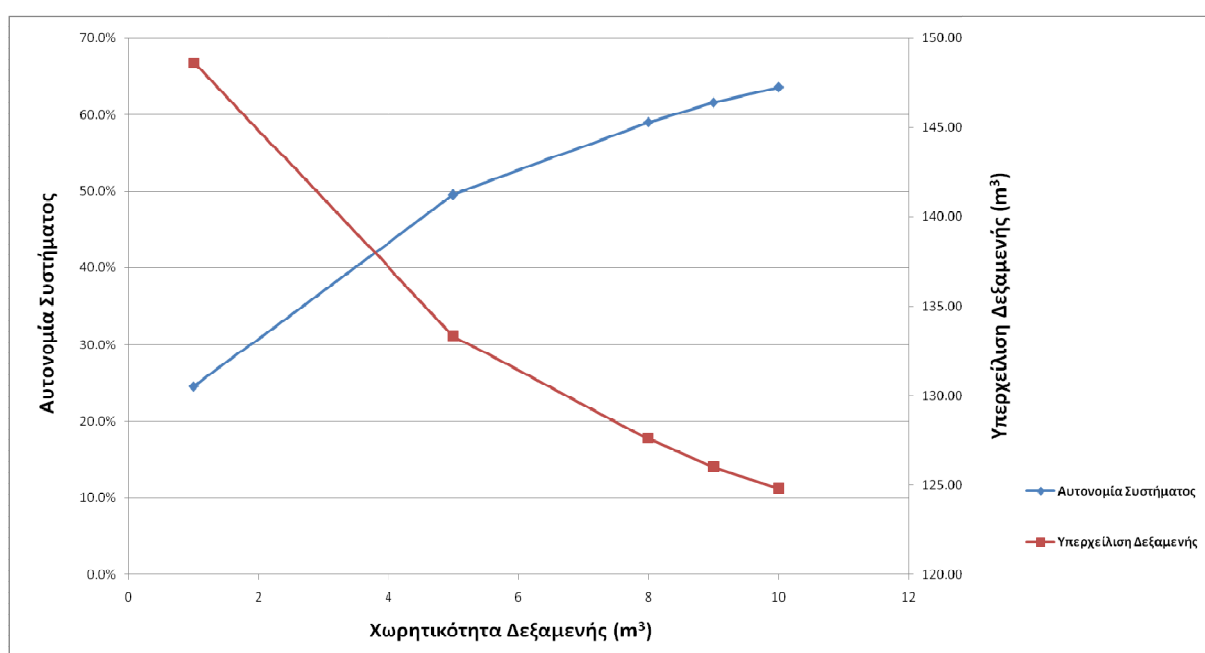
5.5 Διαστασιολόγηση δεξαμενής βρόχινου νερού

Για την επιλογή της χωρητικότητας της δεξαμενής βρόχινου νερού (Rainwater Harvesting Tank) έγιναν αρκετές δοκιμές με στόχο να επιλέξουμε την ιδανική χωρητικότητα. Έτσι, κάναμε βελτιστοποίηση δοκιμάζοντας λογικές τιμές χωρητικότητας σε σχέση με τον διαθέσιμο χώρο και τις διάφορες εμπορικές λύσεις, υπολογίζοντας την αυτονομία που πετύχαινε το σύστημα αλλά και την υπερχειλίση της δεξαμενής με σκοπό να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα. Συγκεκριμένα, έγινε προσομοίωση της λειτουργίας της δεξαμενής για το μοντέλο Low-Rain (2 RWH Roofs) το οποίο είναι όμοιο για τα θεωρητικά και τα πρακτικά μοντέλα, με διαφορετική χωρητικότητα κάθε φορά στα 10 m³, 9m³, 8 m³, 5 m³ και 1 m³. Από την προσομοίωση υπολογίσαμε την αυτονομία του NBS συστήματος και την υπερχειλίση της δεξαμενής για δεδομένη χωρητικότητα. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 12.

Πίνακας 12 Αποτελέσματα δοκιμών για την επιλογή χωρητικότητας της δεξαμενής βρόχινου νερού

Ετήσια μεγέθη		
Χωρητικότητα Δεξαμενής (m ³)	Υπερχείλιση Δεξαμενής (m ³)	Αυτονομία Συστήματος
1	148.64	24.5%
5	133.35	49.5%
8	127.59	59.0%
9	125.99	61.6%
10	124.80	63.54%

Με βάση τα αποτελέσματα δημιουργήσαμε ένα γράφημα Pareto για την επιλογή της βέλτιστης χωρητικότητας όπως φαίνεται παρακάτω, όπου στο ίδιο γράφημα υπάρχει και η αυτονομία και η υπερχειλίση για κάθε δοκιμή/μοντέλο.



Γράφημα 1 Βελτιστοποίησης χωρητικότητας δεξαμενής μέσω δοκιμών

Επομένως από το Γράφημα 1 παρατηρούμε πως από τα 8 m³ μέχρι τα 10 m³ χωρητικότητας δεξαμενής η αυτονομία του συστήματος παρουσιάζει μικρή μεταβολή (παραμένει κοντά στο 60%) ενώ και η υπερχειλίση της αυξάνεται λίγο. Έπειτα, για δοκιμή χωρητικότητας μικρότερη από 8 m³ η αυτονομία του συστήματος μειώνεται σημαντικά και η υπερχειλίση αντίστοιχα αυξάνεται. Επομένως, συμπεραίνουμε πως η βέλτιστη επιλογή για την χωρητικότητα είναι τα 8m³ καθώς επιτυγχάνουμε ένα ικανοποιητικό βαθμό αυτονομίας του συστήματος ενώ ταυτόχρονα κάνουμε μια πιο οικονομική επιλογή αλλά και μια επιλογή που είναι ιδανικότερη για κατασκευαστικούς λόγους και για λόγους χωροθέτησης της στους χώρους του σχολείου.

Ωστόσο, όπως επισημάναμε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, η προσομοίωση όλων των μοντέλων έγινε με δεξαμενή χωρητικότητας 10 m³ και όχι 8 m³. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός πως θέλαμε να έχουμε ίδια χωρητικότητα για την προσομοίωση όλων των μοντέλων και στα θεωρητικά μοντέλα υπάρχει μια κοινή δεξαμενή για το γκρι και το βρόχινο νερό, επομένως θα έπρεπε να είναι λίγο μεγαλύτερη για να δέχεται και τις δύο ροές και όχι μόνο το βρόχινο νερό. Έτσι έγινε και η επιλογή των 10 m³ έναντι των 8m³ που ήταν η βέλτιστη.

6. Ανάλυση-Αποτελέσματα

6.1 Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario)

Σε πρώτη φάση, το σχολείο μελετήθηκε όπως είναι στην σημερινή του κατάσταση χωρίς την προσθήκη οποιοδήποτε παρεμβάσεων όπως φαίνεται στην Εικόνα 46. Έχοντας ως γνωστές τις υδρευτικές καταναλώσεις του σχολείου από το δίκτυο, επιλέχθηκε να γίνει η βαθμονόμηση του μοντέλου με βάση αυτές, ώστε να ελέγξουμε κατά πόσο το μοντέλο μας αντικατοπτρίζει την πραγματική κατάσταση του αστικού κύκλου νερού του σχολείου και έπειτα να τροποποιήσουμε και να καταλήξουμε στις τελικές παραδοχές που θα περιγράφουν την λειτουργία του αστικού υδατικού συστήματος. Οι μετρήσεις που είχαμε από την Ε.ΥΔ.Α.Π. αφορούσαν το διάστημα 19/7/2017 έως 12/7/2021 και αυτά τα δεδομένα κατανάλωσης μαζί με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου αναφοράς ως προς την συνολική ζήτηση νερού του σχολείου φαίνονται στον Πίνακα 13.

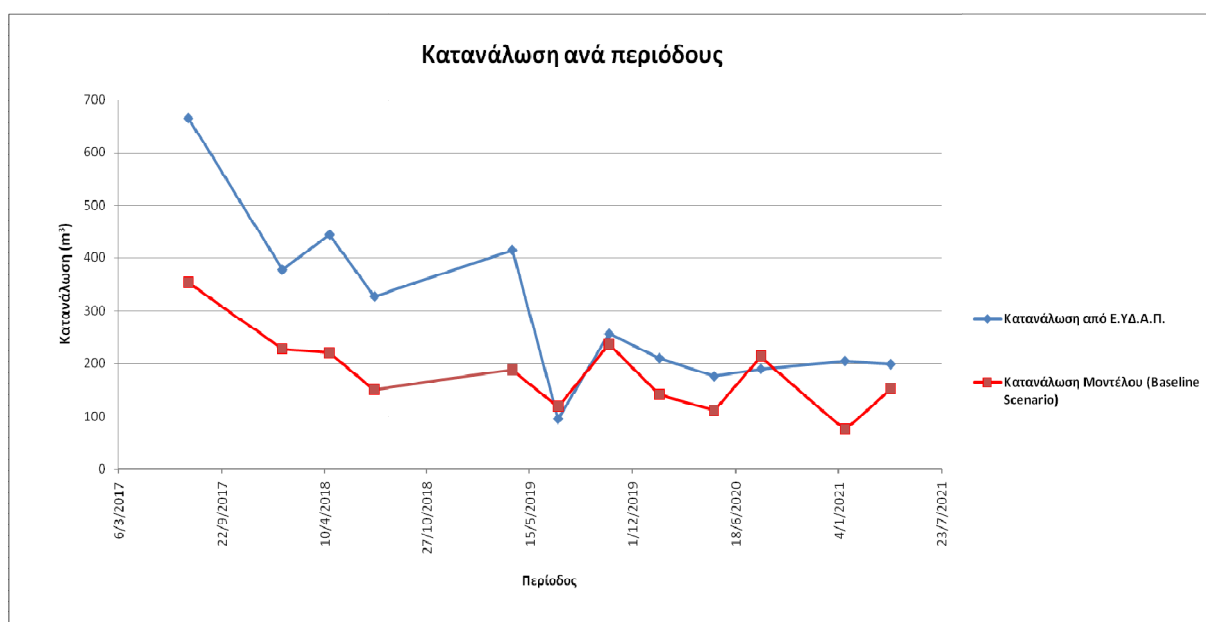


Εικόνα 46 Η τωρινή κατάσταση στο σχολείο-Baseline Scenario (Google Earth)

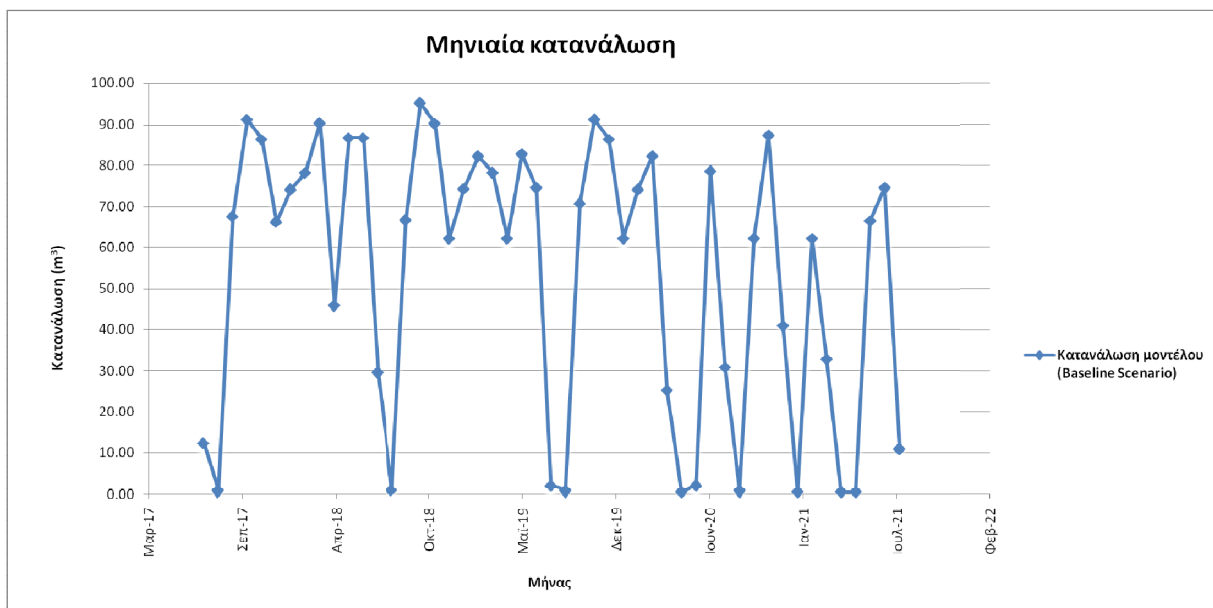
Πίνακας 13 Αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση με πραγματικές τιμές

Περίοδος Κατανάλωσης		Κατανάλωση (m ³)		
Από	Εώς	Κατανάλωση από Ε.ΥΔ.Α.Π.	Κατανάλωση Μοντέλου (Baseline Scenario)	Διαφορά
19/7/2017	16/1/2018	665	353.46	311.54
17/1/2018	18/4/2018	377	226.55	150.45
19/4/2018	14/7/2018	443	219.81	223.19
15/7/2018	22/10/2018	327	149.96	177.04
11/4/2019	9/7/2019	414	187.14	226.86
9/7/2019	15/10/2019	95	118.81	-23.81
16/10/2019	21/1/2020	255	235.51	19.49
22/1/2020	6/5/2020	209	141.18	67.82
7/5/2020	5/8/2020	175	111.44	63.56
6/8/2020	15/1/2021	189	212.45	-23.45
16/1/2021	14/4/2021	204	74.69	129.31
15/4/2021	12/7/2021	198	152.19	45.81

Στο Γράφημα 2 παρουσιάζεται η κατανάλωση του σχολείου για τις πραγματικές και τις προσομοιωμένες τιμές, για όλη την περίοδο που μελετάμε, στο οποίο φαίνεται και η απόκλιση που έχουν. Στο Γράφημα 3 παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα αλλά σε μηνιαίο βήμα.



Γράφημα 2 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση



Γράφημα 3 Γραφική αναπαράσταση μηνιαίων καταναλώσεων από την προσομοίωση

Παρατηρούμε στο Γράφημα 2 πως για το διάστημα μέχρι 9/7/2019 υπάρχει υποεκτίμηση της κατανάλωσης και στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα μέχρι 12/7/2021 οι τιμές είναι αρκετά κοντά με εξαίρεση μόνο μία μέτρηση. Συγκεκριμένα, στις περιόδους 19/7/2017 έως 9/7/2019 και 16/1/2021 έως 14/4/2021 η διαφορά της προσομοιωμένης τιμής κατανάλωσης είναι πολύ μικρότερη από την πραγματική τιμή κατανάλωσης και πάντα πάνω από 100 m³, για λόγο που δεν μπορέσαμε να προσδιορίσουμε, και ίσως είχε να κάνει με σφάλμα στις μετρήσεις των καταναλώσεων τις Ε.ΥΔ.Α.Π. ή με κάποια πρόσθετη προσωρινή κατανάλωση που έγινε αυτές τις περιόδους στο σχολείο η οποία ήταν άγνωστη σε εμάς και δεν προσομοιώθηκε στο μοντέλο. Έγιναν αρκετές δοκιμές για να βελτιστοποιηθεί η βαθμονόμηση του μοντέλου για την περίοδο πριν την 10/7/2019, αλλά ως αποτέλεσμα χανόταν η καλή προσαρμογή το μοντέλου στην περίοδο 10/7/2019 έως 12/7/2021. Επομένως, θεωρήσαμε συντηρητικά σαν πιο σωστή λύση τις παρατηρημένες μειωμένες τιμές κατανάλωσης της περιόδου 10/7/2019 έως 12/7/2021, κατά την οποία παράγεται λιγότερο γκρι νερό από τις συσκευές του σχολείου. Έτσι επιλέξαμε να γίνει η βαθμονόμηση του μοντέλου σε 2 ξεχωριστές περιπτώσεις, όπου η πρώτη θα αναφέρεται στην περίοδο 19/7/2017 έως 9/7/2019 (Version 1) και η δεύτερη στην περίοδο 10/7/2019 έως 12/7/2021 (Version 2), με διαφορετικές παραδοχές για την κάθε περίπτωση, όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4, με στόχο οι πραγματικές και οι προσομοιωμένες τιμές να συμπίπτουν μόνο για την περίοδο στην οποία αναφέρεται η κάθε περίπτωση. Έτσι θέλαμε να επιτύχουμε σύγκλιση των τιμών και για την περίοδο πριν την 10/7/2019. Η περίοδος για την οποία γίνεται η βαθμονόμηση ονομάζεται περίοδος βαθμονόμησης ενώ η υπόλοιπη περίοδος ονομάζεται περίοδος επαλήθευσης. Κανονικά οι δείκτες θα έπρεπε να είναι κοντά και για τις δύο περιόδους, αλλά στην δικιά μας περίπτωση αυτό δεν είναι δυνατόν να γίνει σε καμία από τις δύο περιπτώσεις βαθμονόμησης.

Για να διαπιστωθεί η επιτυχής ή όχι βαθμονόμηση του μοντέλου χρησιμοποιούμε τους εξής δείκτες: (α) τον συντελεστή Nash-Sutcliffe (NSE) και (β) το άθροισμα των τετραγωνισμένων διαφορών μεταξύ παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών. Οι σχέσεις που δίνουν τους δείκτες έχουν ως εξής (Legates & McCabe, 1999):

$$NSE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

$$SUMSQ = \min \left[\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]$$

όπου: P_i είναι οι τιμές όπως προκύπτουν από το μοντέλο, O_i είναι οι τιμές των παρατηρημένων δεδομένων, \bar{O} η μέση τιμή των ιστορικών/παρατηρημένων δεδομένων και n ο αριθμός των βημάτων προσομοίωσης.

Ο δείκτης NSE λαμβάνει τιμές στο διάστημα από $-\infty$ έως 1 με τις ψηλότερες τιμές να δείχνουν καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου. Αν ο δείκτης πάρει τιμή ίση με το μηδέν σημαίνει ότι το μοντέλο περιγράφει με την ίδια αποτελεσματικότητα όπως και η μέση τιμή των παρατηρημένων τιμών, ενώ αρνητικές τιμές του συντελεστή υποδεικνύουν ότι η εφαρμοσιμότητα του μοντέλου έχει την ίδια ισχύ με το λευκό θόρυβο. Στόχος είναι ο δείκτης NSE να είναι όσο πιο κοντά στο 1 γίνεται και το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών να είναι όσο πιο κοντά στο 0 γίνεται.

6.1.1 Προσομοίωση για την πρώτη χρονική περίοδο (Version 1)

Στην πρώτη περίπτωση, έγινε βαθμονόμηση του μοντέλου για το διάστημα 19/7/2017 έως 9/7/2019. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 14 Πίνακας 14, όπου παρατηρούμε ότι αυξάνεται πλέον η κατανάλωση που προκύπτει από την προσομοίωση και τελικά συγκλίνουν οι καταναλώσεις για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με την αλλαγή των παραδοχών.

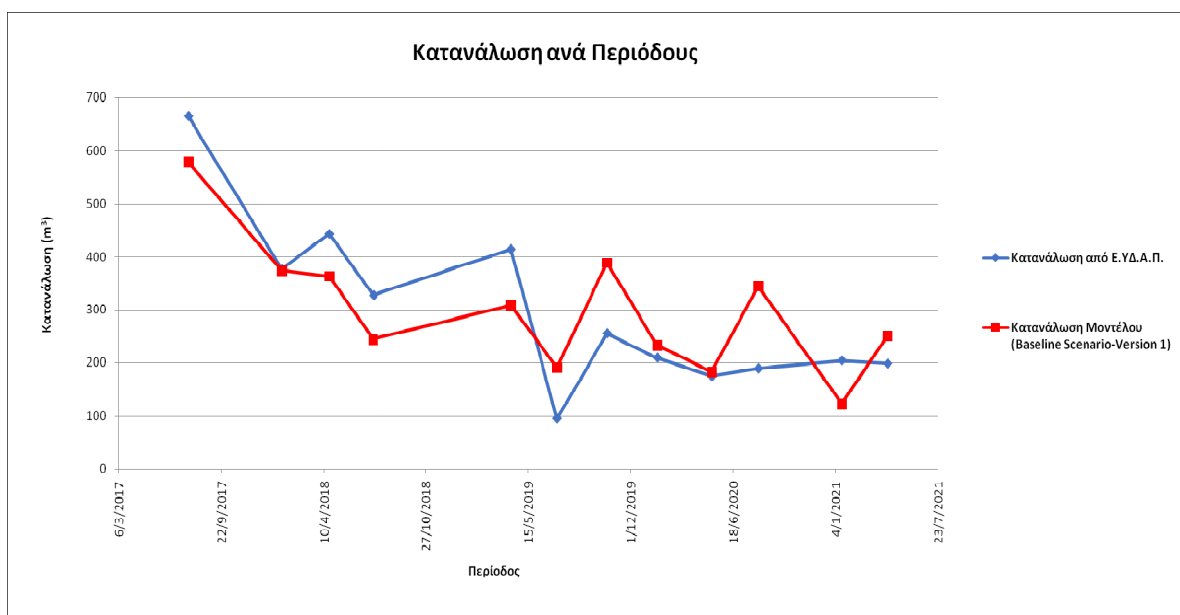
Πίνακας 14 Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτης περίπτωσης και σύγκριση με πραγματικές τιμές (Version 1)

Περίοδος Κατανάλωσης		Κατανάλωση (m ³)		
Από	Εώς	Κατανάλωση από Ε.ΥΔ.Α.Π.	Κατανάλωση Μοντέλου (Baseline Scenario)	Διαφορά
19/7/2017	16/1/2018	665	578.59	86.41
17/1/2018	18/4/2018	377	374.02	2.98
19/4/2018	14/7/2018	443	362.71	80.29
15/7/2018	22/10/2018	327	243.68	83.32
11/4/2019	9/7/2019	414	307.80	106.20
10/7/2019	15/10/2019	95	191.11	-96.11
16/10/2019	21/1/2020	255.00	388.34	-133.34
22/1/2020	6/5/2020	209	232.34	-23.34
7/5/2020	5/8/2020	175	182.69	-7.69
6/8/2020	15/1/2021	189.00	343.83	-154.83
16/1/2021	14/4/2021	204.00	122.95	81.05
15/4/2021	12/7/2021	198.00	250.42	-52.42

Πίνακας 15 Δείκτες NSE και του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών

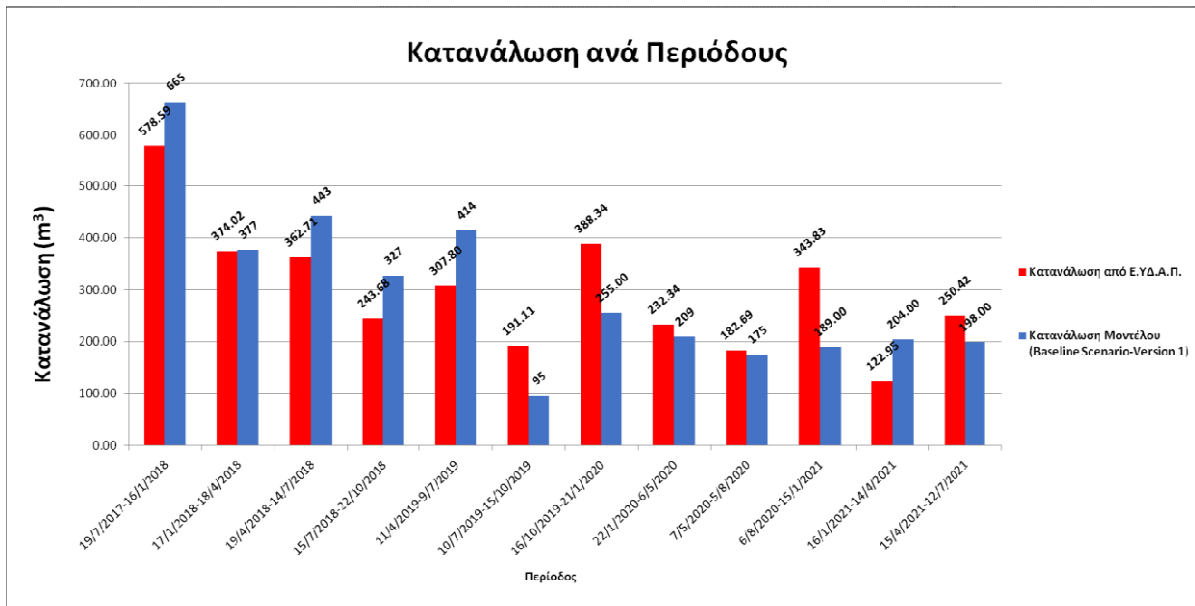
Περίοδος 19/7/2017 έως 9/7/2019	Περίοδος 9/7/2019 έως 12/7/2021
NSE	NSE
0.821	0.350
SUM (Observed-Modelled) ²	SUM (Observed-Modelled) ²
32144.81	60909.98

Η σύγκλιση των τιμών φαίνεται και από τους δείκτες στον Πίνακα 15. Έτσι για την περίοδο 19/7/2017 έως 9/7/2019 (περίοδος βαθμονόμησης) οι δείκτες μας δείχνουν ότι το μοντέλο λειτουργεί σωστά, που ήταν και ο στόχος μας σε αυτή την περίπτωση βαθμονόμησης του μοντέλου. Οι τιμές για την περίοδο 10/7/2019 έως 12/7/2021 (περίοδος επαλήθευσης) μας δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλο σφάλμα στις τιμές του μοντέλου και η προσαρμογή δεν είναι τόσο καλή, κάτι το οποίο περιμέναμε. Αυτό γίνεται κατανοητό και στο Γράφημα 4 στο οποίο παρατηρούμε και την σύγκλιση των τιμών για το διάστημα 19/7/2017 έως 9/7/2019.

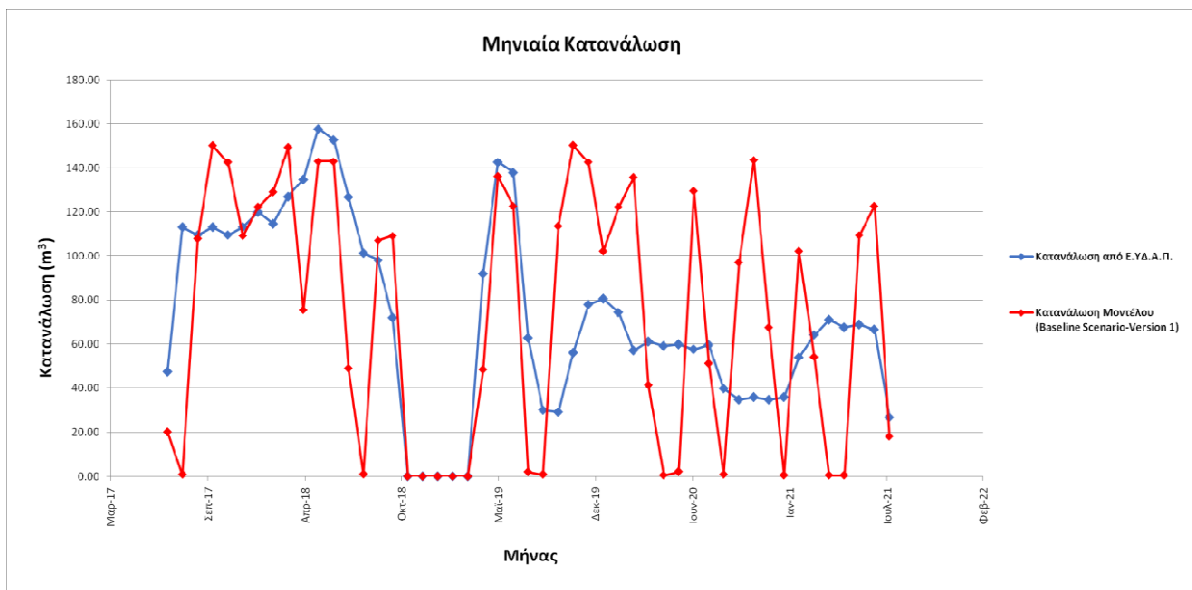


Γράφημα 4 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση

Παρακάτω στο Γράφημα 5 αποτυπώνονται οι πραγματικές και οι προσομοιωμένες τιμές των καταναλώσεων σε μορφή γραφήματος στήλης και στο Γράφημα 6 παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα σε μηνιαίο βήμα.



Γράφημα 5 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση



Γράφημα 6 Γραφική αναπαράσταση μηνιαίων καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση

6.1.2 Προσομοίωση για την δεύτερη χρονική περίοδο (Version 2)

Στην δεύτερη περίπτωση, έγινε βαθμονόμηση του μοντέλου για το διάστημα 10/7/2019 έως 12/7/2021, και όπως και πριν παρατηρούμε στον Πίνακα 16 ότι μειώνεται η προσομοιωμένη κατανάλωση και τελικά συγκλίνουν οι καταναλώσεις για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 16 Αποτελέσματα προσομοίωσης δεύτερης περίπτωσης και σύγκριση με πραγματικές τιμές (Version 2)

Περίοδος Κατανάλωσης		Κατανάλωση (m ³)		
Από	Εώς	Κατανάλωση από Ε.ΥΔ.Α.Π.	Κατανάλωση Μοντέλου (Baseline Scenario)	Διαφορά
19/7/2017	16/1/2018	665	420.66	244.34
17/1/2018	18/4/2018	377	270.56	106.44
19/4/2018	14/7/2018	443	262.47	180.53
15/7/2018	22/10/2018	327	177.94	149.06
11/4/2019	9/7/2019	414	223.15	190.85
10/7/2019	15/10/2019	95.00	140.33	-45.33
16/10/2019	21/1/2020	255.00	281.13	-26.13
22/1/2020	6/5/2020	209.00	168.38	40.62
7/5/2020	5/8/2020	175.00	132.72	42.28
6/8/2020	15/1/2021	189.00	253.31	-64.31
16/1/2021	14/4/2021	204.00	91.85	112.15
15/4/2021	12/7/2021	198.00	181.52	16.48

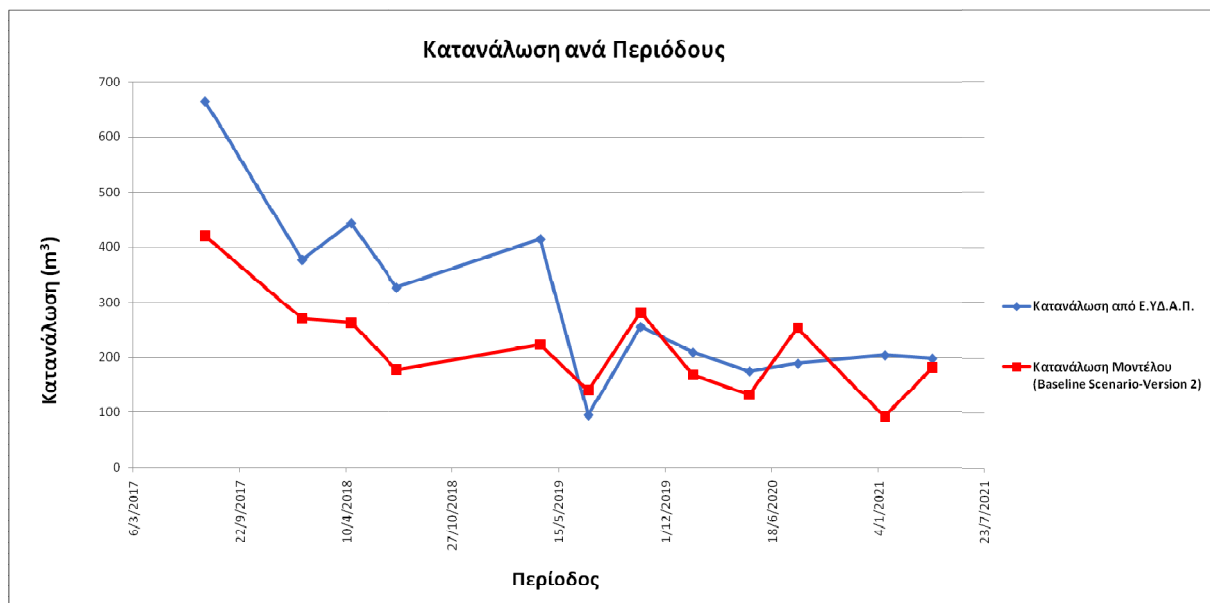
Εδώ και πάλι οι δείκτες που υπολογίσαμε μας δείχνουν ότι το μοντέλο πλησιάζει αρκετά στις παρατηρημένες τιμές στην περίοδο για την οποία έγινε η βαθμονόμηση (περίοδος βαθμονόμησης), ενώ για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα (περίοδος επαλήθευσης) οι δείκτες είναι πολύ κακοί κάτι το οποίο αναμέναμε (Πίνακας 17).

Πίνακας 17 Δείκτες NSE και του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών

Περίοδος 19/7/2017 έως 9/7/2019
NSE
0.095
SUM (Observed-Modelled) ²
162264.74

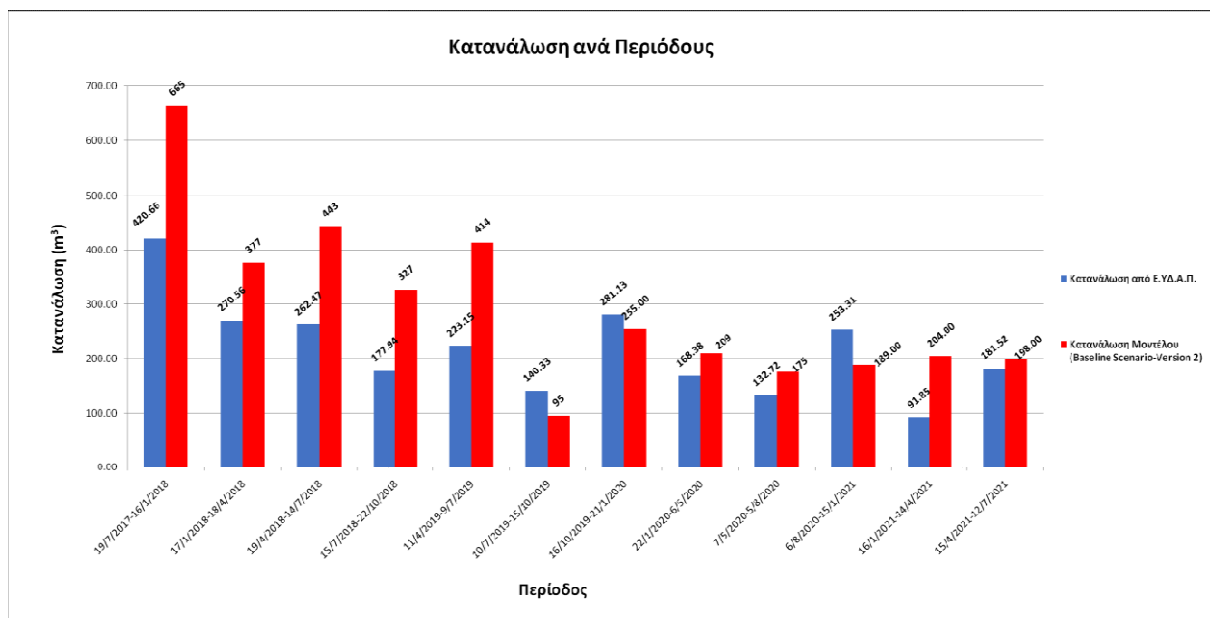
Περίοδος 9/7/2019 έως 12/7/2021
NSE
0.753
SUM (Observed-Modelled) ²
23159.81

Στο Γράφημα 7 παρατηρούμε την σύγκλιση των τιμών για το διάστημα 9/7/2019 έως 12/7/2021.

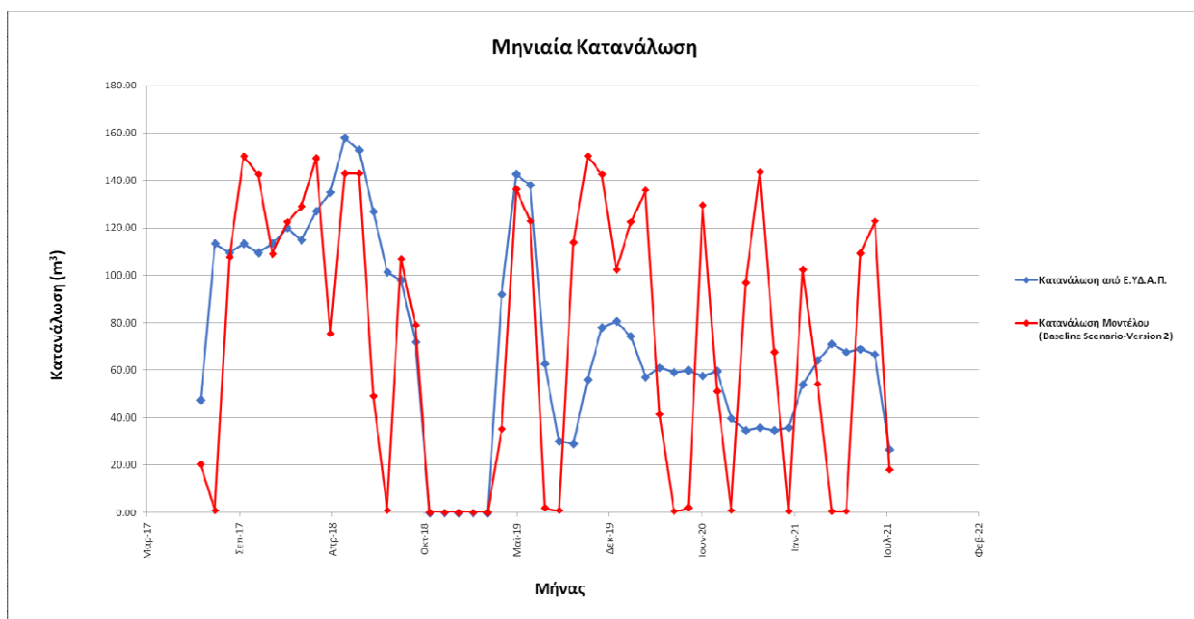


Γράφημα 7 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση

Παρακάτω στο Γράφημα 8 αποτυπώνονται οι πραγματικές και οι προσομοιωμένες τιμές των καταναλώσεων σε μορφή γραφήματος στήλης και στο Γράφημα 9 παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα σε μηνιαίο βήμα.



Γράφημα 8 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση



Γράφημα 9 Γραφική αναπαράσταση μηνιαίων καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση

6.1.3 Προσομοίωση για όλη την χρονική περίοδο

Προκειμένου να βαθμονομηθεί το μοντέλο σε μία ενιαία εκδοχή με κοινές παραδοχές, επιλέξαμε να γίνει μια προσομοίωση στην οποία προσθέσαμε στο μοντέλο της δεύτερης περίπτωσης (Version 2) μία ακόμη συσκευή η οποία παρήγαγε μόνο μια μεμονωμένη ζήτηση (Input Component) για την πρώτη περίοδο, με στόχο να μπορούσαμε να προσομοιώσουμε αυτή την άγνωστη ζήτηση που θεωρούμε ότι υπήρχε και μας δημιουργούσε το σφάλμα στην περίοδο πριν από την 9/7/2019. Έτσι επιλέξαμε να τοποθετήσουμε μια σταθερή ζήτηση με κατανάλωση 3000 L/d μέχρι την 9/7/2019, την οποία εισαγάγαμε στο μοντέλο με μορφή χρονοσειράς. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 18 και στο Γράφημα 10 όπου παρατηρούμε πως οι πραγματικές και οι προσομοιωμένες τιμές συγκλίνουν για όλη την χρονική περίοδο.

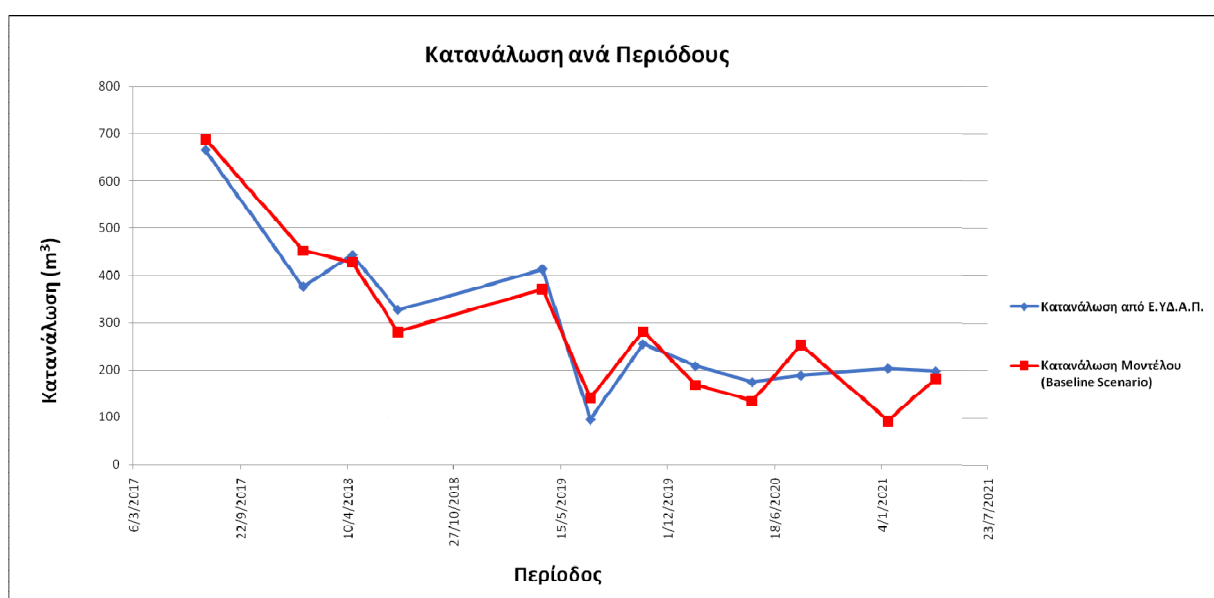
Πίνακας 18 Αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση με πραγματικές τιμές

Περίοδος Κατανάλωσης		Κατανάλωση (m ³)		
Από	Εώς	Κατανάλωση από Ε.Υ.Δ.Α.Π.	Κατανάλωση Μοντέλου (Baseline Scenario)	Διαφορά
19/7/2017	16/1/2018	665	687.96	-22.96
17/1/2018	18/4/2018	377	452.06	-75.06
19/4/2018	14/7/2018	443	427.47	15.53
15/7/2018	22/10/2018	327	280.24	46.76
11/4/2019	9/7/2019	414	371.65	42.35
10/7/2019	15/10/2019	95.00	140.33	-45.33
16/10/2019	21/1/2020	255.00	281.13	-26.13
22/1/2020	6/5/2020	209.00	168.38	40.62
7/5/2020	5/8/2020	175.00	132.72	42.28
6/8/2020	15/1/2021	189.00	253.31	-64.31
16/1/2021	14/4/2021	204.00	91.85	112.15
15/4/2021	12/7/2021	198.00	181.52	16.48

Στον Πίνακα 19 παρατηρούμε από τους δείκτες που υπολογίσαμε ότι το μοντέλο συνολικά πλησιάζει αρκετά στις παρατηρημένες τιμές, ενώ αν εξετάσουμε ξεχωριστά τις 2 περιόδους όπως πριν βλέπουμε ότι οι τιμές των δεικτών πλέον συγκλίνουν.

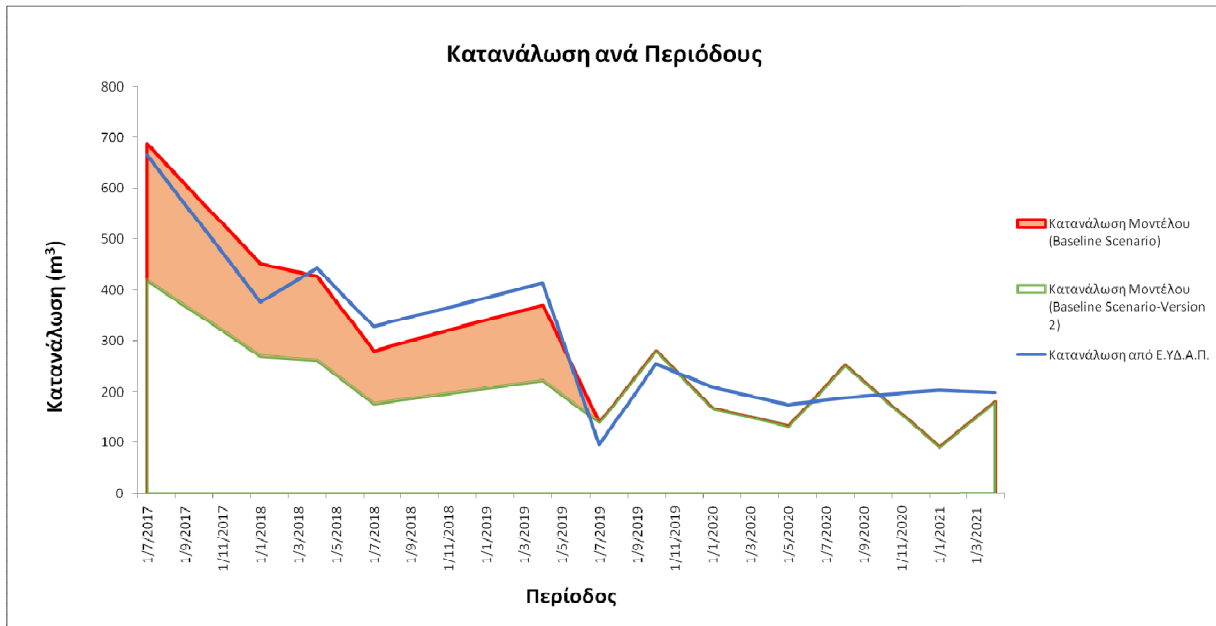
Πίνακας 19 Δείκτες NSE και του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών

Συνολική περίοδος	Περίοδος 9/7/2019 έως 12/7/2021	Περίοδος 19/7/2017 έως 9/7/2019
NSE	NSE	NSE
0.877	0.753	0.942
SUM (Observed-Modelled) ²	SUM (Observed-Modelled) ²	SUM (Observed-Modelled) ²
33542.32	23159.81	10382.52



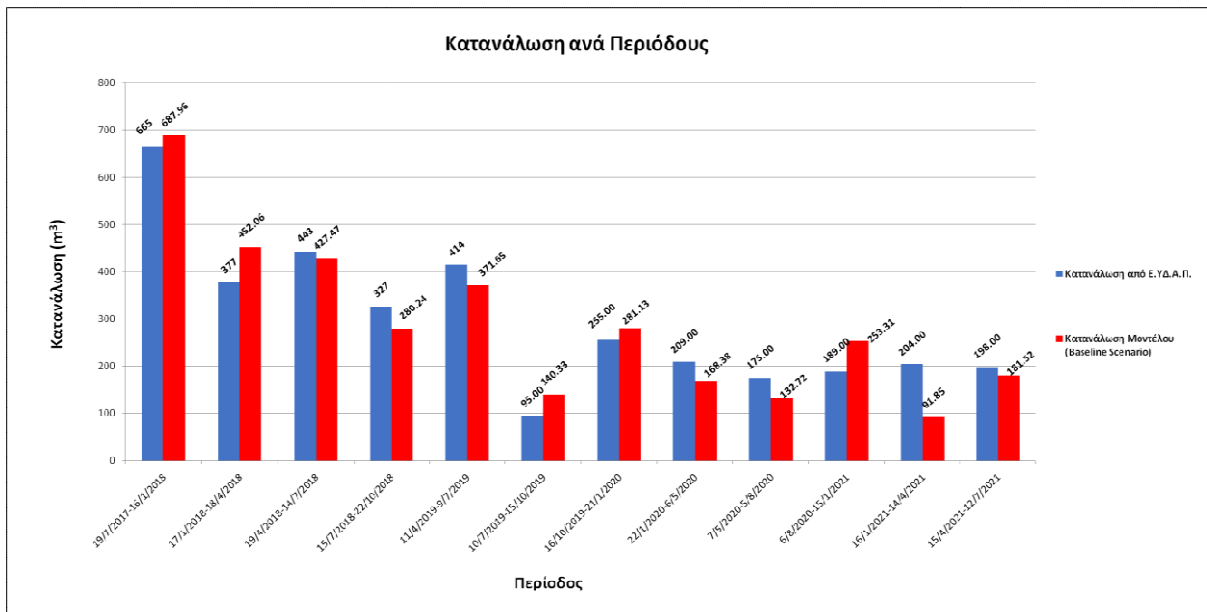
Γράφημα 10 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση

Στο Γράφημα 11 στην πορτοκαλί σκιασμένη επιφάνεια βλέπουμε την διαφορά της προσομοίωσης αυτού του μοντέλου με την προσομοίωση που έγινε μόνο για την δεύτερη χρονική περίοδο (Version 2) και παρατηρούμε την διαφορά στην σύγκλιση των τιμών για την περίοδο 19/7/2017 έως 9/7/2019.

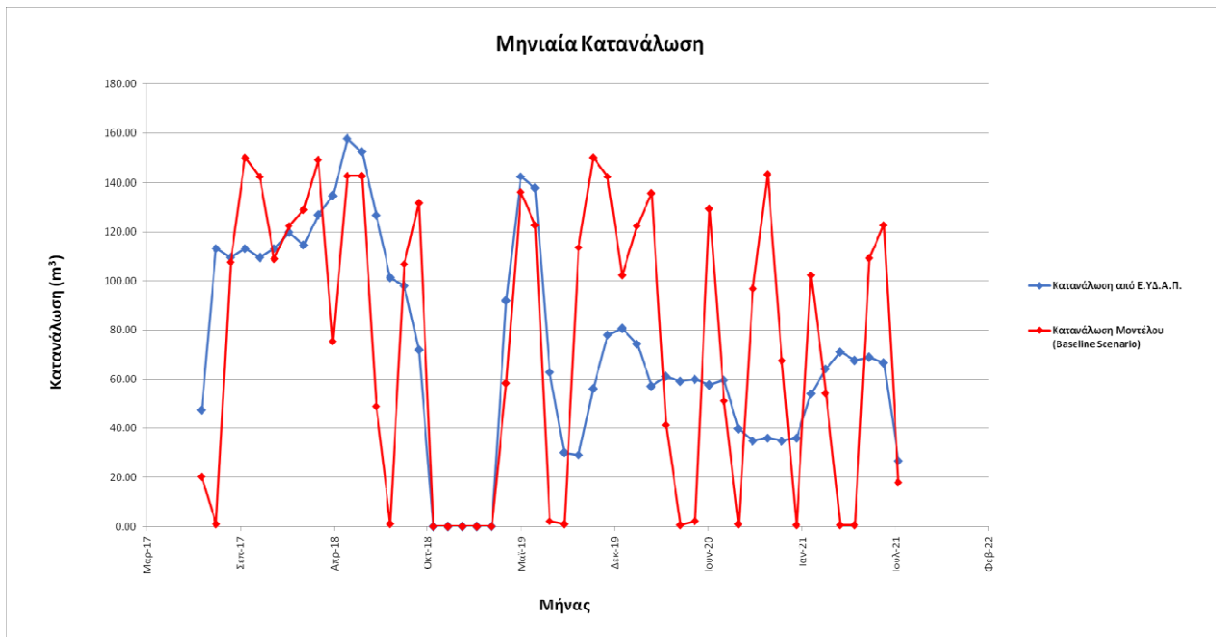


Γράφημα 11 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση και διαφορά με δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης

Παρακάτω στο Γράφημα 12 αποτυπώνονται οι πραγματικές και οι προσομοιωμένες τιμές των καταναλώσεων σε μορφή γραφήματος στήλης και στο Γράφημα 13 παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα σε μηνιαίο βήμα.



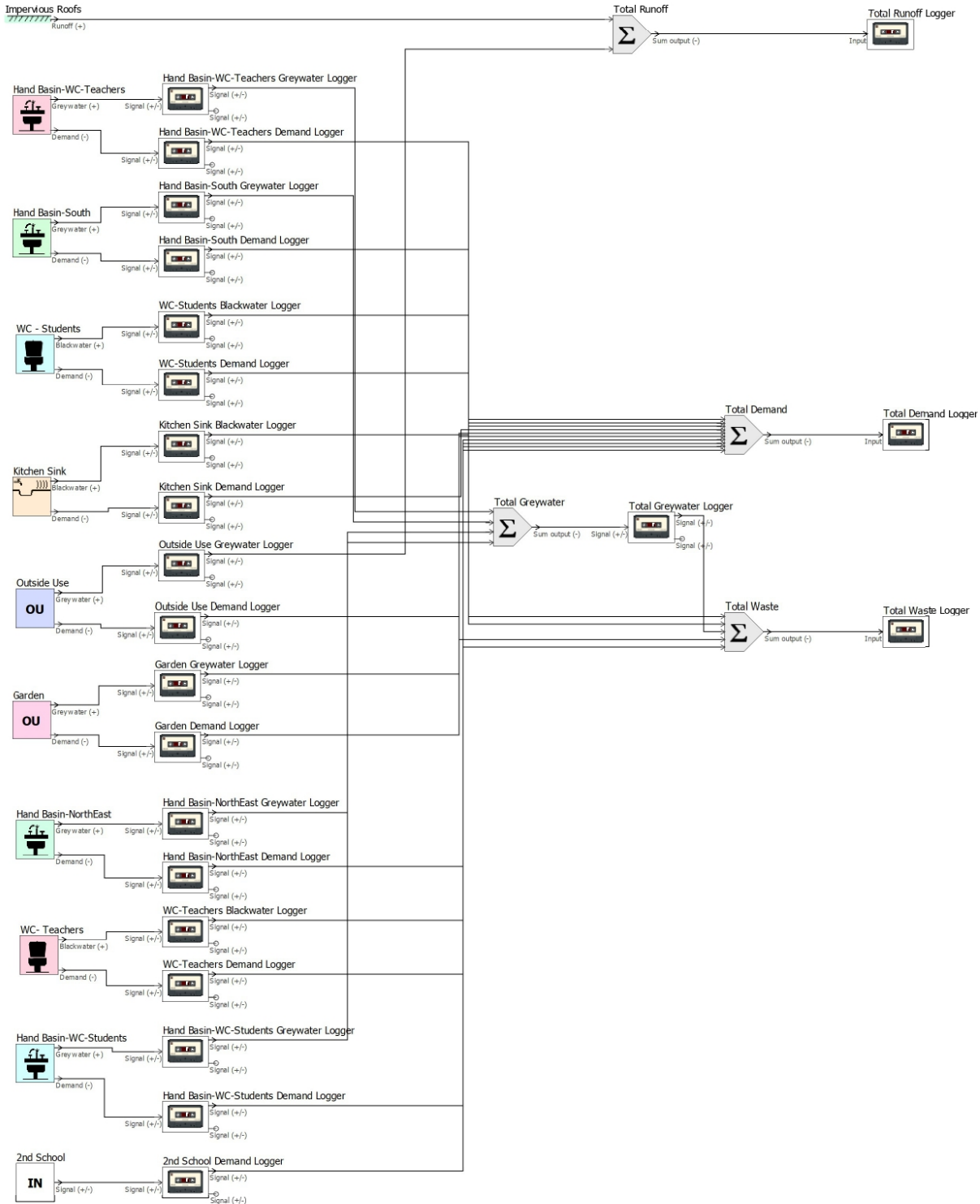
Γράφημα 12 Γραφική αναπαράσταση καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση



Γράφημα 13 Γραφική αναπαράσταση μηνιαίων καταναλώσεων από μετρήσεις και από την προσομοίωση

6.1.4 Τελική προσομοίωση συστήματος

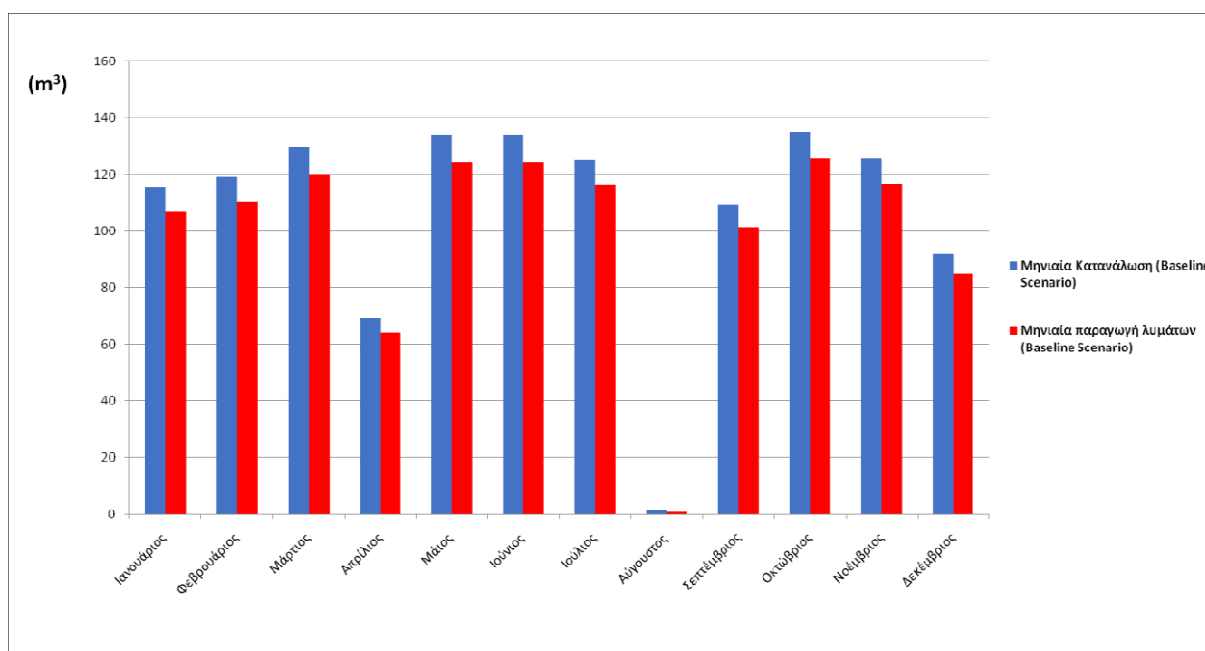
Στη συνέχεια, από τις παραδοχές που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 5.4, παράχθηκαν οι χρονοσειρές των δεδομένων εισόδων με βάση τις παραδοχές για χρονικό διάστημα ενός έτους, όπως για την συχνότητα χρήσης και τους χρήστες των συσκευών, το οποίο αποτέλεσε το τυπικό έτος με το οποίο έγινε η τελική προσομοίωση αναφοράς του συστήματος του σχολείου. Έτσι έχοντας και δεδομένα για την βροχόπτωση της περιοχής για το διάστημα 1/11/2014 έως 12/7/2021, παράχθηκαν οι χρονοσειρές για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα με βάση το τυπικό έτος. Από την τελική προσομοίωση (Εικόνα 47) προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 20. Επίσης στο Γράφημα 14 γίνεται αναπαράσταση της μηνιαίας κατανάλωσης του σχολείου και της μηνιαίας παραγωγής λυμάτων μορφή γραφήματος στήλης, όπως προκύπτουν από την προσομοίωση σε και στο Γράφημα 15 παρουσιάζεται η μηνιαία απορροή του σχολείου.



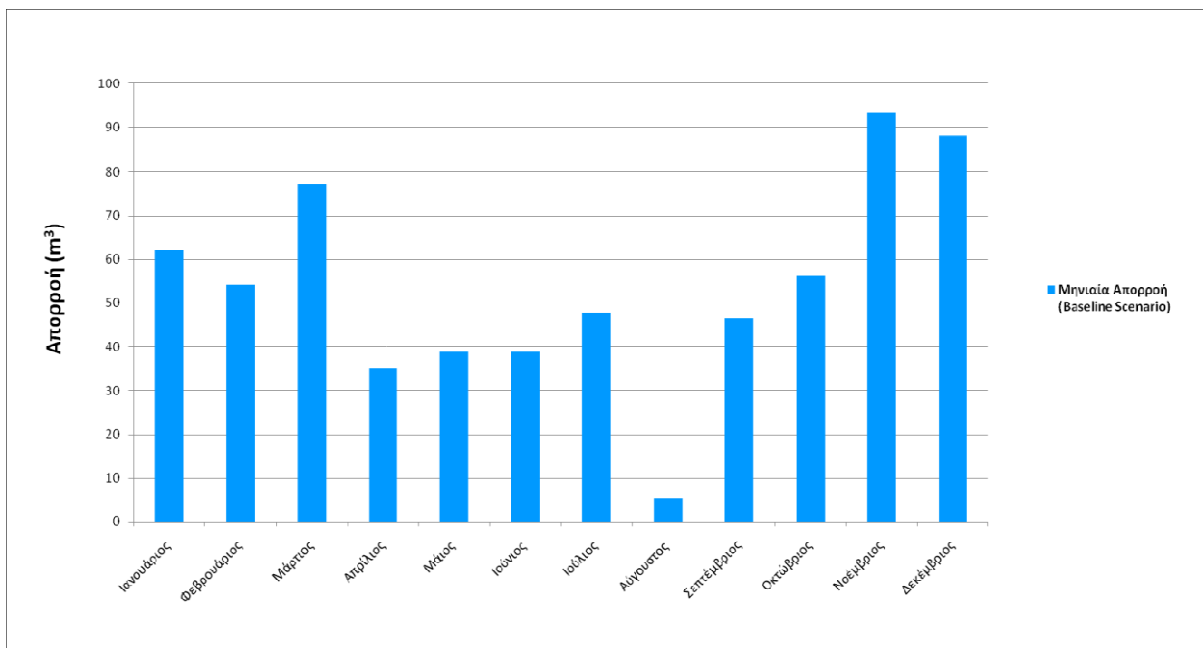
Εικόνα 47 Σχηματοποίηση μοντέλουBaseline Scenario στο λογισμικό UWOT

Πίνακας 20 Αποτελέσματα τελικής προσομοίωσης Baseline Scenario (ετήσια κλίμακα)

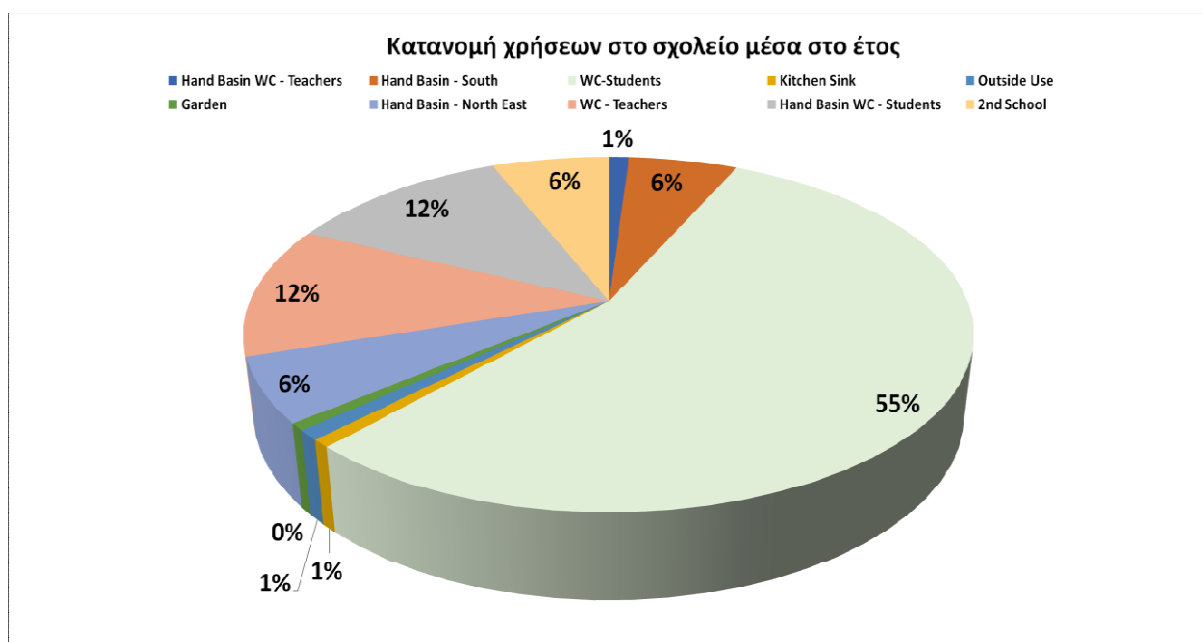
	Baseline Scenario
Κατανάλωση (m ³)	1200.32
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00
Απορροή (m ³)	623.98
Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2542.26
Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	80.01%
Περατές επιφάνειες (m ²)	635.00
Περατές επιφάνειες (%)	19.99%
NBS επιφάνειες (m ²)	0.00
NBS επιφάνειες (%)	0.00%
Πράσινες επιφάνειες (m ²)	635.00
Πράσινες επιφάνειες (%)	19.99%
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	0.00
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	0.00%



Γράφημα 14 Μηνιαίας κατανάλωσης νερού από το δίκτυο και παραγωγής λυμάτων στο σχολείο για όλες τις χρήσεις



Γράφημα 15 Μηνιαία απορροή βροχόπτωσης στο σχολείο



Γράφημα 16 Κατανομή των καταναλώσεων στο σχολείο με βάση την κάθε χρήση

Παρατηρούμε από το Γράφημα 16 πως το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης στο σχολείο (πάνω από το μισό) γίνεται από τα καζανάκια στις τουαλέτες των μαθητών, και ακολουθούν τα καζανάκια στις τουαλέτες των καθηγητών και οι νιπτήρες στις τουαλέτες των μαθητών, κάτι που μας δείχνει ότι υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης σημαντικής ποσότητας γκρι νερού από τις τουαλέτες και τους νιπτήρες των μαθητών.

6.2 Σενάρια NBS (NBS Scenarios)

Όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 5.3 τα σενάρια με τις παρεμβάσεις στο σχολείο χωρίζονται σε πιο θεωρητικά μοντέλα και σε μοντέλα προς εφαρμογή και όλα έχουν προσομοιωθεί χρησιμοποιώντας τις παραδοχές που περιγράφονται στο Υποκεφάλαιο 5.4. Στο δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων επιλέχτηκε να κατασκευαστεί φυτοδώμα εκτατικού και ημιεντατικού τύπου, μαζί με ένα υδατοπερατό δάπεδο και μερικές ζαρντινιέρες οι οποίες θα αρδεύονται εξ' ολοκλήρου από πόσιμο νερό. Το νερό που διηθείται στο υδατοπερατό δάπεδο, δεν καταλήγει στις αποστραγγιστικές μεμβράνες της φύτευσης για να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, αφού η κάθε αποστραγγιστική μεμβράνη λειτουργεί ξεχωριστά. Έτσι το νερό αυτό απορρέει προς το δίκτυο ομβρίων του σχολείου. Σε όλα τα υπόλοιπα δώματα επιλέχτηκαν φυτοδώματα εκτατικού τύπου.

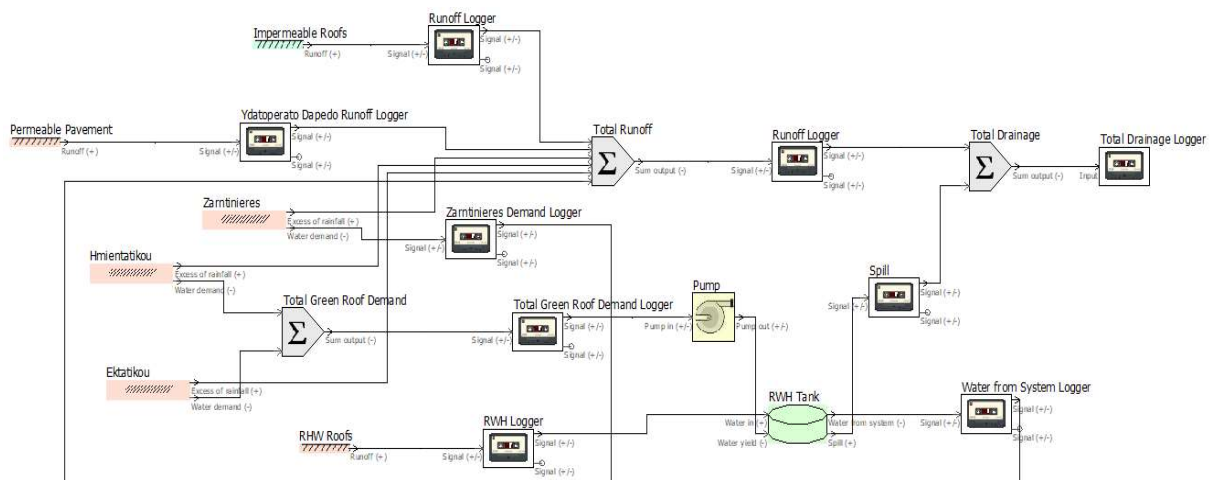
6.2.1 Θεωρητικά μοντέλα

Στα θεωρητικά μοντέλα, εξετάσαμε πολλές εναλλακτικές επιλογές τόσο ως προς τις φυτεύσεις αλλά και τις μεθόδους επαναχρησιμοποίησης νερού για την άρδευση των φυτοδωμάτων. Εδώ, δεν συμπεριλάβαμε και τόσους κατασκευαστικούς περιορισμούς, για αυτό και τα αποτελέσματα των μοντέλων παρουσιάζουν περισσότερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε, πως σε όλα τα μοντέλα κατά τον υπολογισμό της απορροής, δεν συμπεριλάβαμε την υπερχείλιση της δεξαμενής και καταλήγει στο δίκτυο ομβρίων, γιατί η δεξαμενή είναι κοινή για βρόχινο και γκρι νερό. Επομένως στην υπερχείλιση θα υπήρχε και κάποια ποσότητα γκρι νερού, κάτι που δεν θέλαμε να το εισάγουμε στην απορροή προς το δίκτυο ομβρίων καθώς το σωστό είναι να καταλήγει στο δίκτυο ακαθάρτων, ενώ θα δημιουργούσε και μια σύγχυση κατά την σύγκριση με τα μοντέλα στα οποία δεν γίνεται χρήση γκρι νερού. Για τον ίδιο λόγο, στα συνολικά λύματα δεν προσμετρείται η περίσσεια γκρι νερού που υπερχειλίζει. Τέλος, στα θεωρητικά μοντέλα που υπάρχει ανακύκλωση γκρι νερού, η ποσότητα γκρι νερού συλλέγεται από τις εξωτερικές συστοιχίες βρυσών και τους νιπτήρες στην τουαλέτα των μαθητών. Η επιλογή για τα μοντέλα προσομοίωσης, δηλαδή με χρήση γκρι ή βρόχινου νερού, στην περίπτωση του Mediumσεναρίου έγινε με βάση την αυτονομία που προέκυψε στα αποτελέσματα του Low σεναρίου όπου συμπεράναμε ότι ήταν μεγαλύτερη με την χρήση του γκρι νερού. Έτσι εκτός από την περίπτωση με τον συνδυασμό και των δύο ροών, θεωρήσαμε πως θα ήταν πιο αποδοτικό να εφαρμοστεί και η περίπτωση όπου θα έχουμε μόνο ανακύκλωση γκρι νερού.

Low-RWH



Εικόνα 48 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Low-RWH



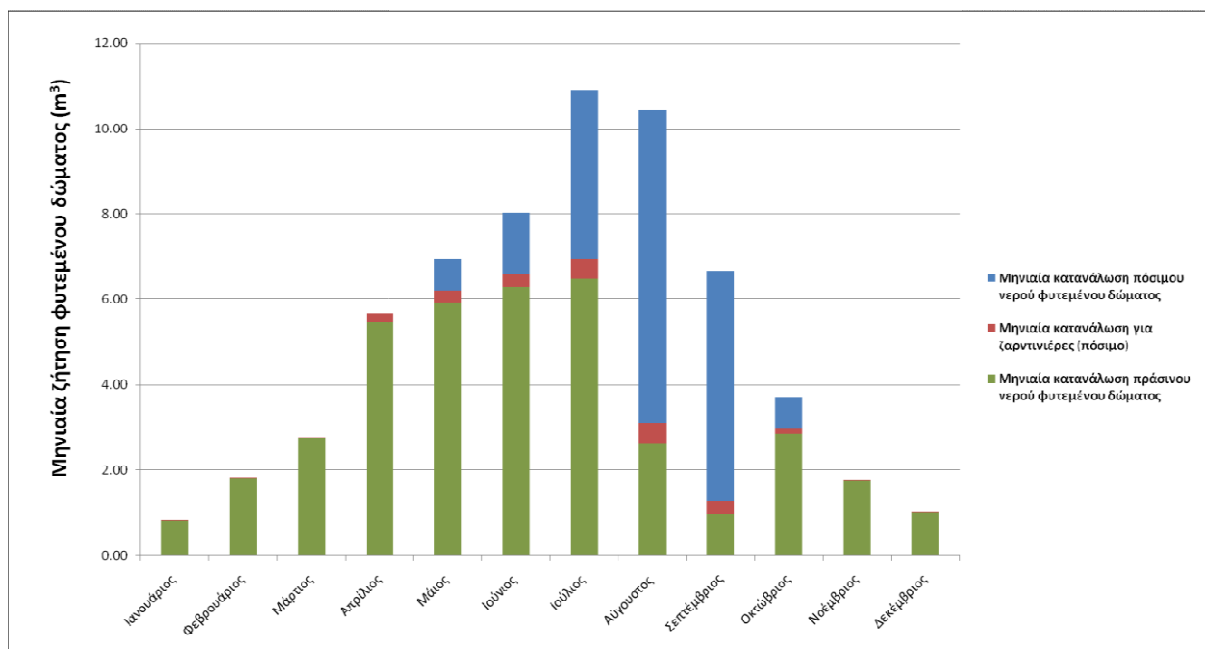
Εικόνα 49 Σχηματοποίηση μοντέλου Low-RWH στο λογισμικό UWOT

Σε αυτό το μοντέλο προσομοιώσαμε από άποψη φυτεύσεων μόνο το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων όπως φαίνεται στην Εικόνα 48. Εδώ θεωρήσαμε δύο δώματα συλλογής βρόχινου νερού, τα δώματα των κτηρίων των αιθουσών. Το βρόχινο νερό καταλήγει στην δεξαμενή και από εκεί με χρήση αντλιών πηγαίνει για άρδευση στο φυτοδώμα του πολυχώρου του σχολείου, ενώ όταν δεν επαρκεί θα αντλείται και πόσιμο νερό από το δίκτυο. Στον Πίνακα 21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και στην Εικόνα 49 η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

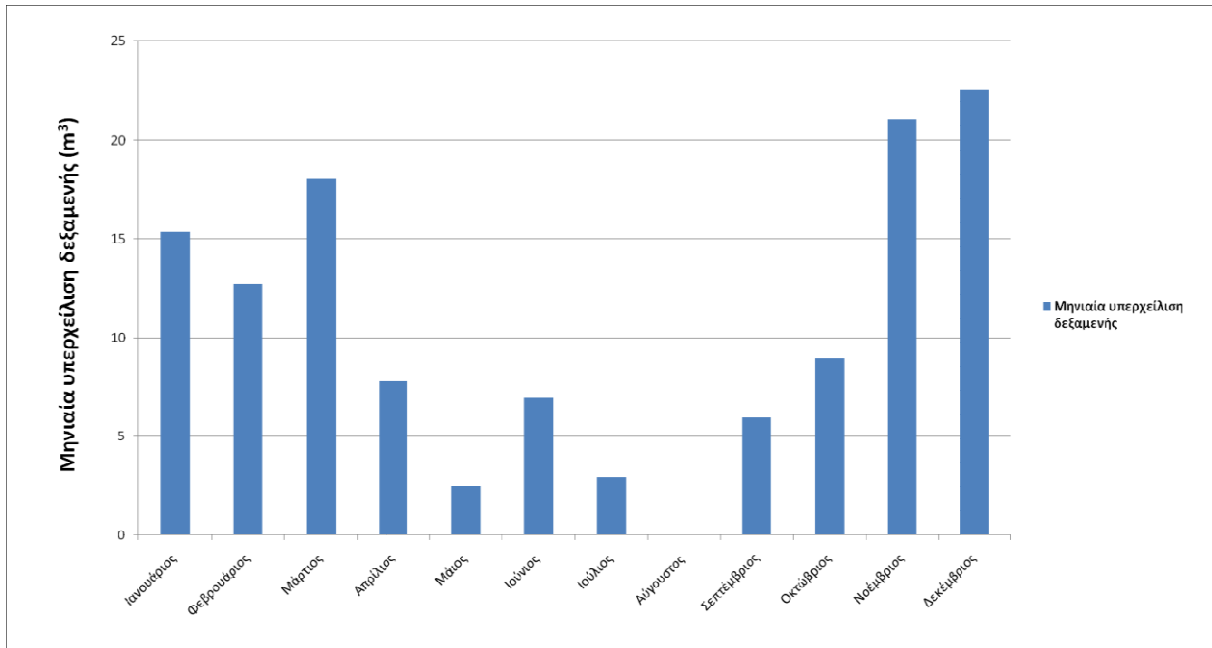
Πίνακας 21 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Low-RWH (ετήσια κλίμακα)

Low-Rain			
Κατανάλωση (m ³)	1222.13	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	0.00
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	120.73
Απορροή (m ³)	569.95	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	1.87
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	0.00%
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	0.00	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	8.66%
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	0.00	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2419.26
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	76.14%
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	758.00
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	60.59	Περατές επιφάνειες (%)	23.86%
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	NBS επιφάνειες (m ²)	307.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	21.82	NBS επιφάνειες (%)	9.66%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	38.77	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	758.00
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	66.43%	Πράσινες επιφάνειες (%)	23.86%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	3.17%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	678.30
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	120.73	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	21.35%
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00		

Στο Γράφημα 17 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 18 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχείλιση της δεξαμενής βρόχινου νερού.

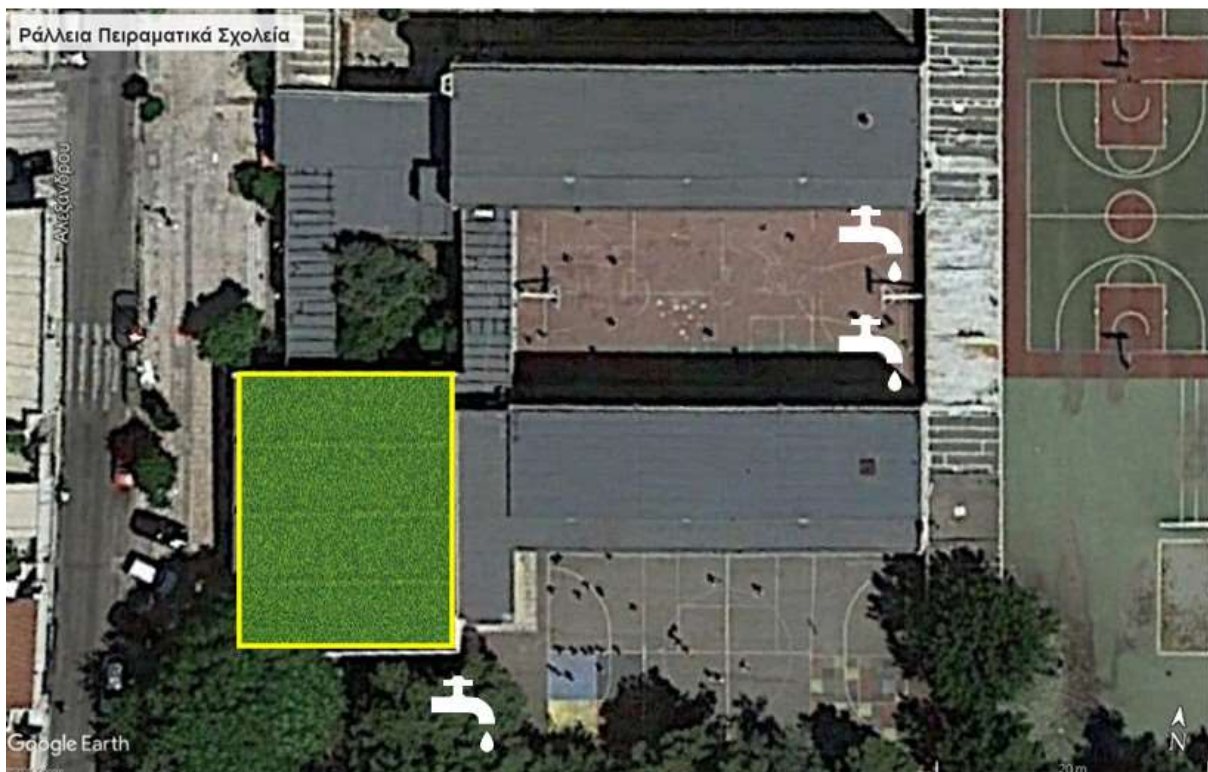


Γράφημα 17 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος

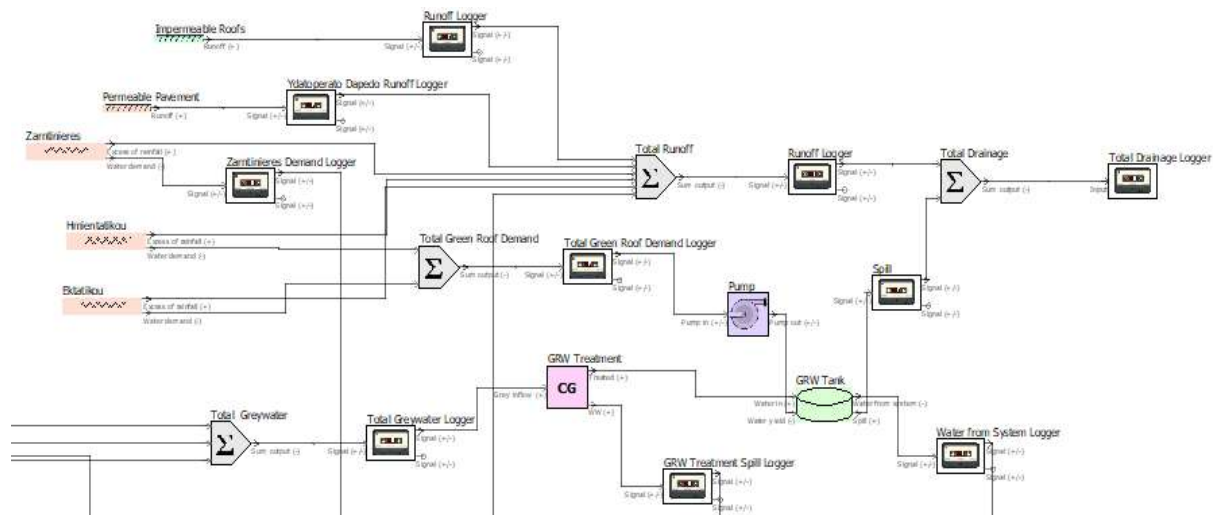


Γράφημα 18 Μηνιαία υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού

Low-GWR



Εικόνα 50 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Low-GWR



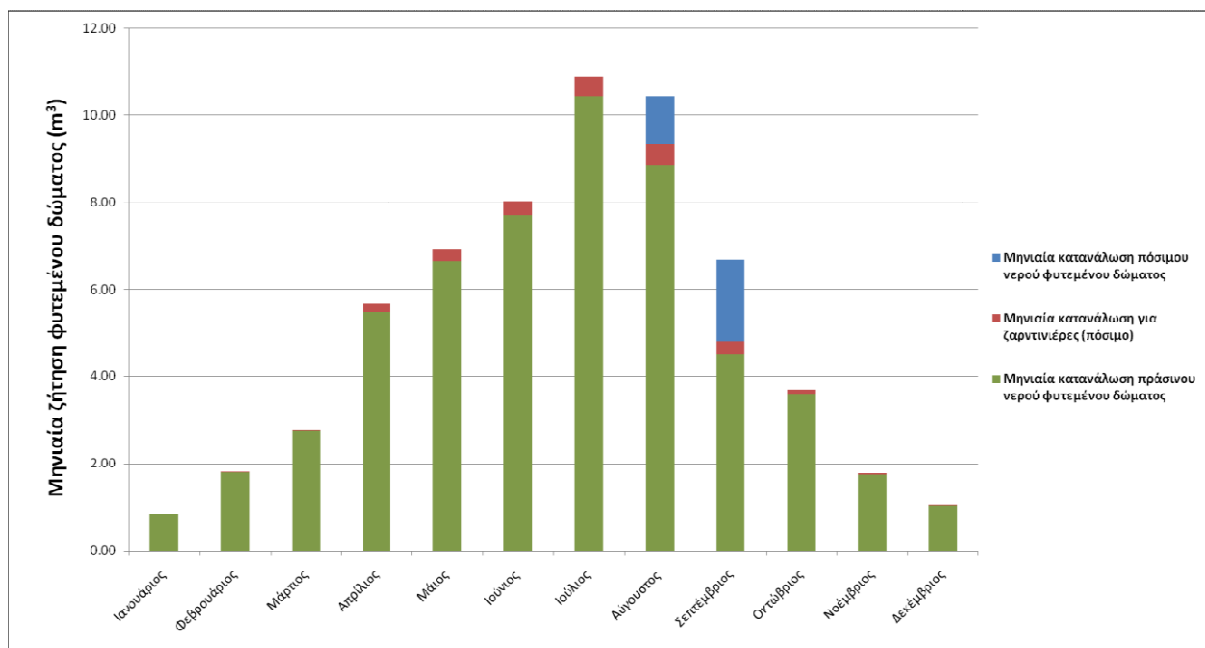
Εικόνα 51 Σχηματοποίηση μοντέλου Low-GWR στο λογισμικό UWOT

Και σε αυτό το σενάριο προσομοιώσαμε το πράσινο/NBS δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων χωρίς όμως δώματα συλλογής βρόχινου νερού όπως φαίνεται στην Εικόνα 50. Σε αυτό το σενάριο, επιλέχθηκε να συλλέγεται το γκρι νερό που παράγεται από τις εξωτερικές συστοιχίες βρυσών και από τους νιπτήρες στις τουαλέτες των μαθητών και αφού περάσει από μια μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού, να καταλήγει σε μια δεξαμενή γκρι νερού. Από εκεί το επεξεργασμένο γκρι νερό προωθείται με αντλίες για την άρδευση του φυτοδώματος, ενώ όταν δεν επαρκεί αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Στον Πίνακα 22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, και στην Εικόνα 51 η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

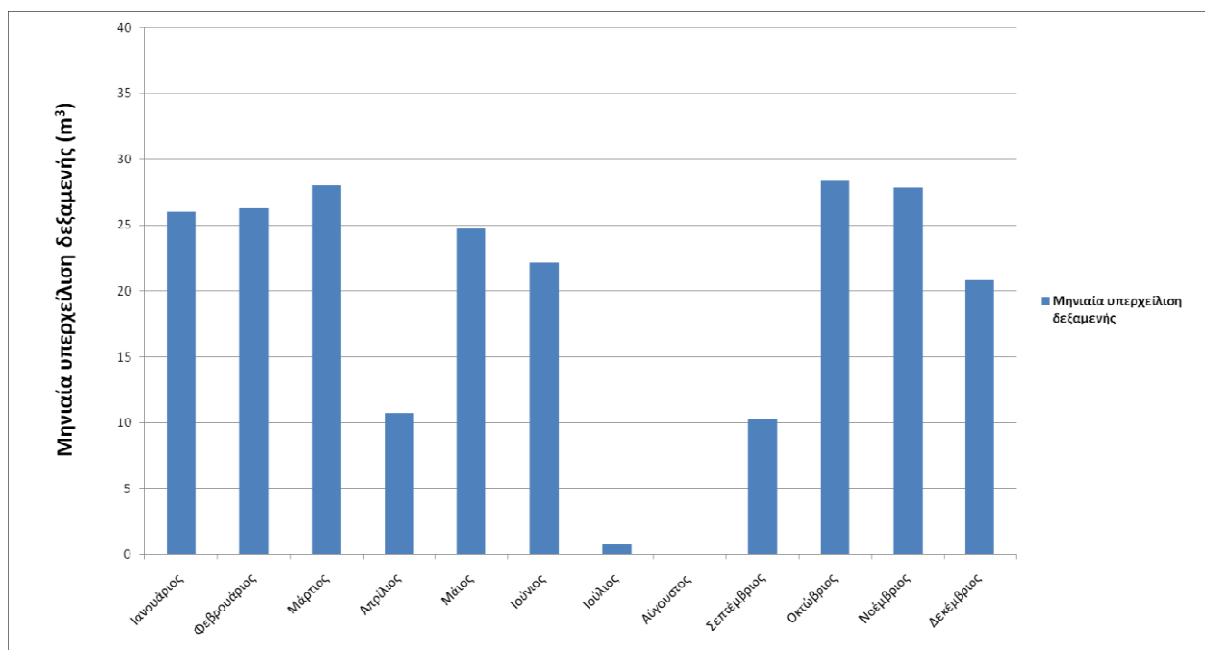
Πίνακας 22 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Low-GWR (ετήσια κλίμακα)

Low-Grey			
Κατανάλωση (m ³)	1205.52	Υπερχειλίση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	225.92
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	833.67	Υπερχειλίση συνολική (m ³)	225.92
Απορροή (m ³)	608.72	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	283.07
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	25.23%
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	0.00	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	2.45%
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	0.00	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2419.26
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	76.14%
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	758.00
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	60.59	Περατές επιφάνειες (%)	23.86%
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	NBS επιφάνειες (m ²)	307.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	5.20	NBS επιφάνειες (%)	9.66%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	55.39	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	758.00
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	94.90%	Πράσινες επιφάνειες (%)	23.86%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	4.59%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	0.00
Υπερχειλίση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	0.00%
Υπερχειλίση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00		

Στο Γράφημα 19 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 20 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχείλιση της δεξαμενής γκρι νερού.



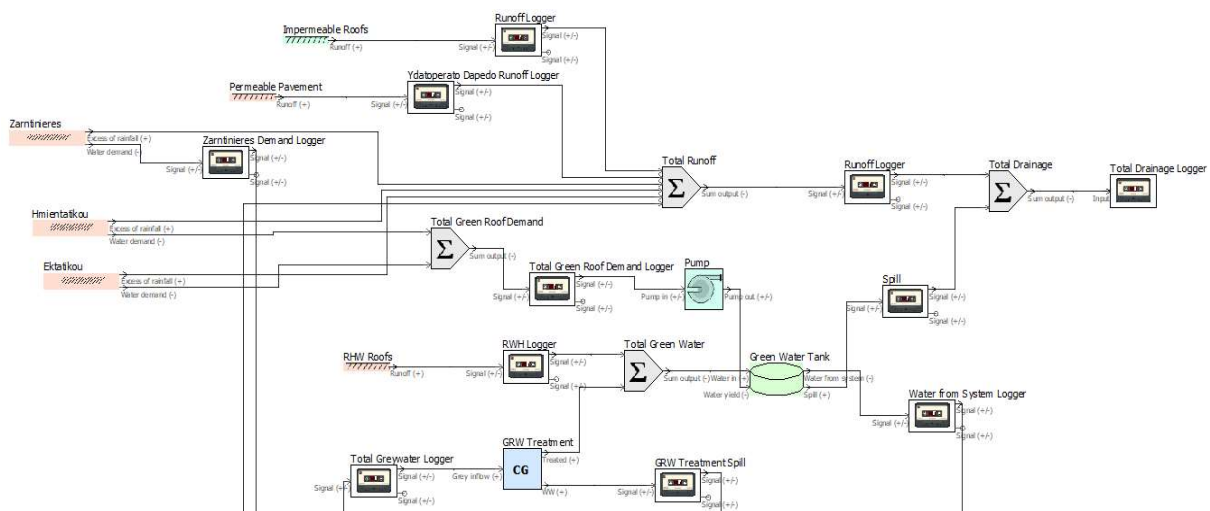
Γράφημα 19 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος



Γράφημα 20 Μηνιαία υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού



Εικόνα 52 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Low-All



Εικόνα 53 Σχηματοποίηση μοντέλου Low-All στο λογισμικό UWOT

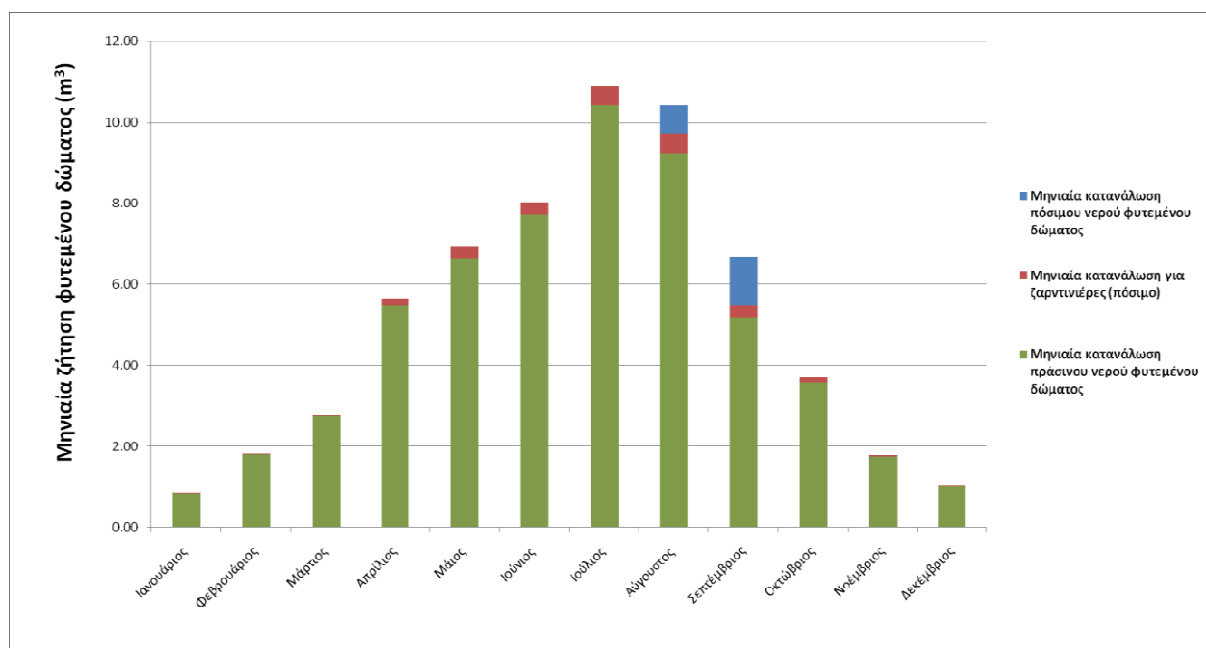
Και εδώ προσομοιώσαμε από άποψη φυτεύσεων μόνο το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων και θεωρήσαμε 2 δώματα συλλογής βρόχινου νερού (Εικόνα 52). Επίσης, επιλέξαμε το γκρι νερό που παράγεται από τις εξωτερικές συστοιχίες βρυσών και από τους νιπτήρες στις τουαλέτες των μαθητών να συλλέγεται και αφού περάσει από μια μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού, να καταλήγει σε μια κοινή δεξαμενή για γκρι και βρόχινο νερό. Από εκεί το πράσινο νερό θα προωθείται με αντλίες για την άρδευση του φυτοδώματος, ενώ όταν δεν επαρκεί θα αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω σεναρίων από άποψη άρδευσης του φυτοδώματος. Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, και στην Εικόνα 53 η

σηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

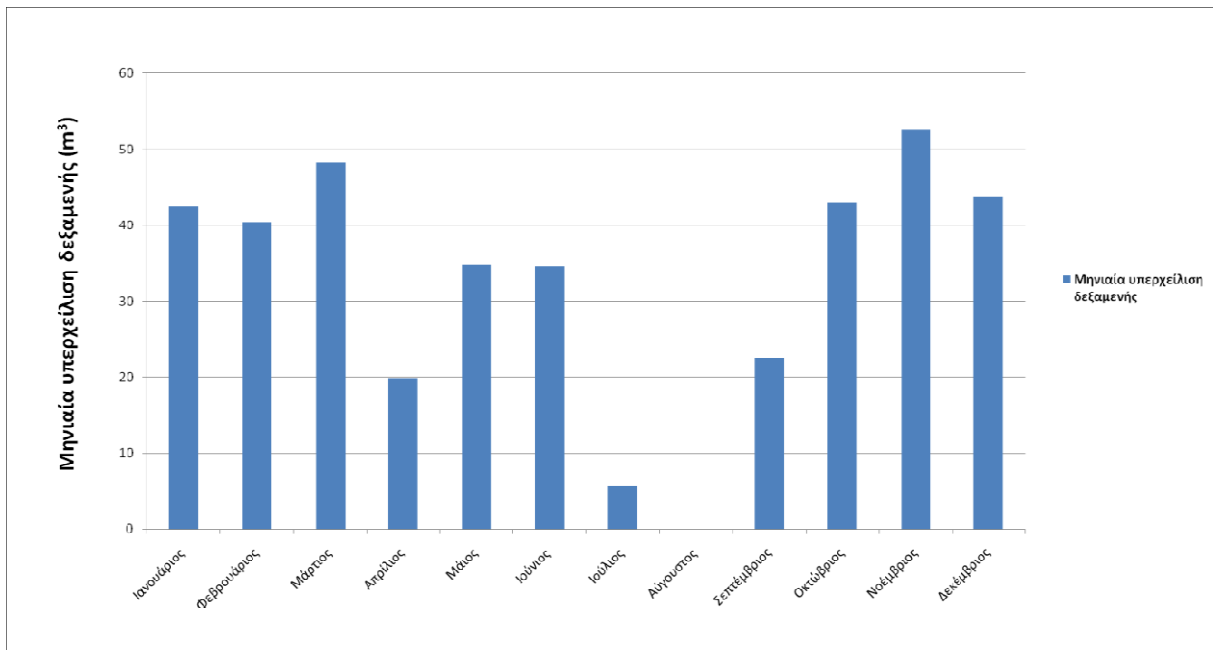
Πίνακας 23 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Low-All (ετήσια κλίμακα)

Low-All			
Κατανάλωση (m ³)	1204.46	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	0.00
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	833.67	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	388.45
Απορροή (m ³)	445.15	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	283.07
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	25.23%
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	0.00	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	28.66%
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	0.00	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2419.26
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	76.14%
Ζήτηση από ζαρντιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	758.00
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντιέρες (m ³)	60.59	Περατές επιφάνειες (%)	23.86%
Πόσιμο νερό για ζαρντιέρες (m ³)	2.22	NBS επιφάνειες (m ²)	307.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	4.14	NBS επιφάνειες (%)	9.66%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	56.45	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	758.00
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	96.72%	Πράσινες επιφάνειες (%)	23.86%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	4.69%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	678.30
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	388.45	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	21.35%
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00		

Στο Γράφημα 21 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 22 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχείλιση της κοινής δεξαμενής γκρι και βρόχινου νερού.



Γράφημα 21 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος

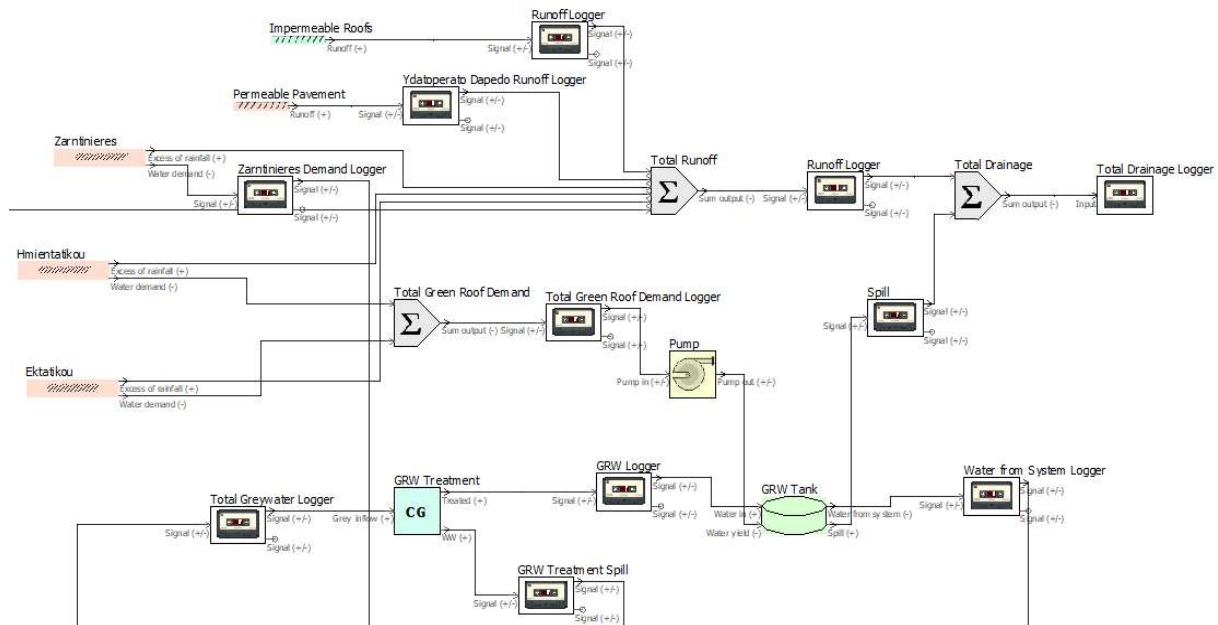


Γράφημα 22 Μηνιαία υπερχείλιση κοινής δεξαμενής

Medium-GWR



Εικόνα 54 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Medium-GWR



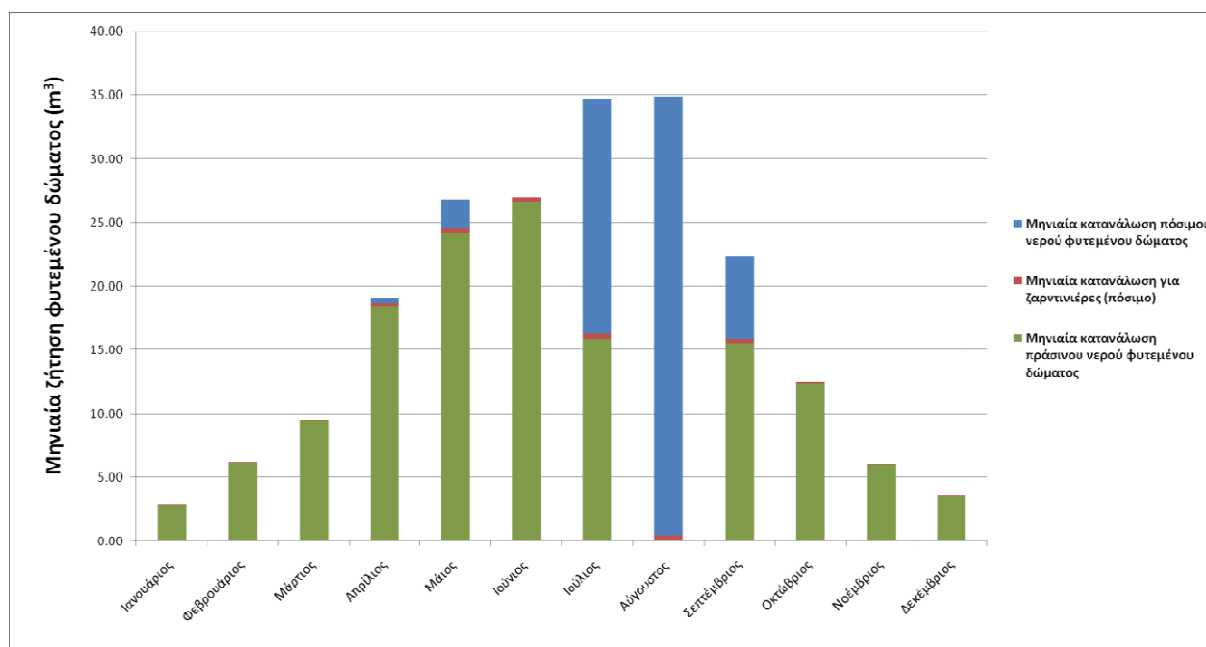
Εικόνα 55 Σχηματοποίηση μοντέλου Medium-GWR στο λογισμικό UWOT

Σε αυτό το μοντέλο προσομοιώθηκε από άποψη φυτεύσεων το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων, το δώμα του διαδρόμου που ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών και το στέγαστρο στην ανατολική πλευρά του σχολείου (Εικόνα 54). Για την άρδευση των φυτοδωμάτων επιλέχθηκε το γκρι νερό που παράγεται από τις εξωτερικές συστοιχίες βρυσών και από τους νιπτήρες στις τουαλέτες των μαθητών να συλλέγεται και αφού περάσει από μια μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού, να καταλήγει σε δεξαμενή για γκρι νερό και όπως και σε προηγούμενο μοντέλο θα προωθείται με αντλίες για την άρδευση του φυτοδώματος, ενώ όταν δεν επαρκεί θα αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Επιλέχθηκε να προσομοιωθεί το σενάριο με το γκρι νερό και όχι με το βρόχινο νερό επειδή στα αποτελέσματα του Lowσεναρίου συμπεράναμε πως η αυτονομία του συστήματος ήταν μεγαλύτερη με την χρήση του γκρι νερού, οπότε θεωρήσαμε πως θα ήταν πιο αποδοτικό να εφαρμοστεί και στα υπόλοιπα σενάρια. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 24, και στην Εικόνα 54 η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

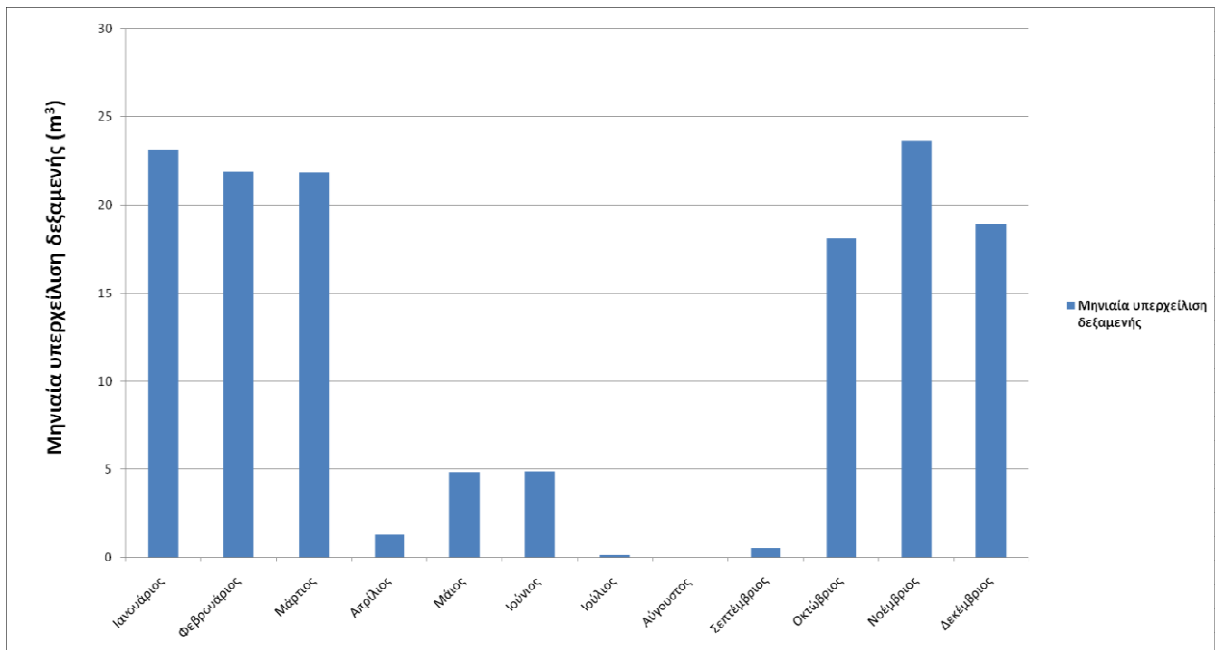
Πίνακας 24 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλουMedium-GWR (ετήσια κλίμακα)

Medium-Grey			
Κατανάλωση (m ³)	1262.10	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	139.31
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	833.67	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	139.31
Απορροή (m ³)	539.33	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	287.65
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	25.23%
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	16.34	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	13.57%
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	126.80	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2115.26
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	66.57%
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	1062.00
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	203.73	Περατές επιφάνειες (%)	33.43%
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	NBS επιφάνειες (m ²)	611.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	61.79	NBS επιφάνειες (%)	19.23%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	141.95	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	1062.00
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	70.44%	Πράσινες επιφάνειες (%)	33.43%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	11.25%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	0.00
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	0.00%
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00		

Στο Γράφημα 23 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 24 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχείλιση της δεξαμενής γκρι νερού.

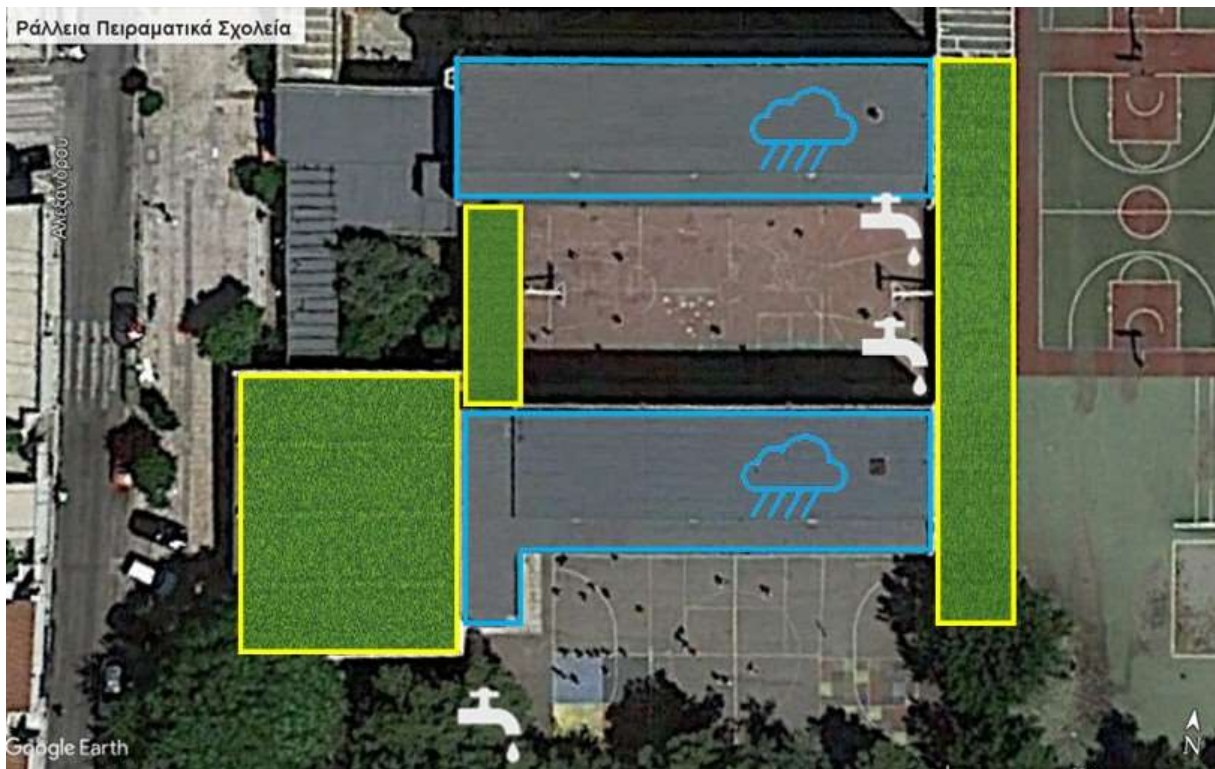


Γράφημα 23 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος

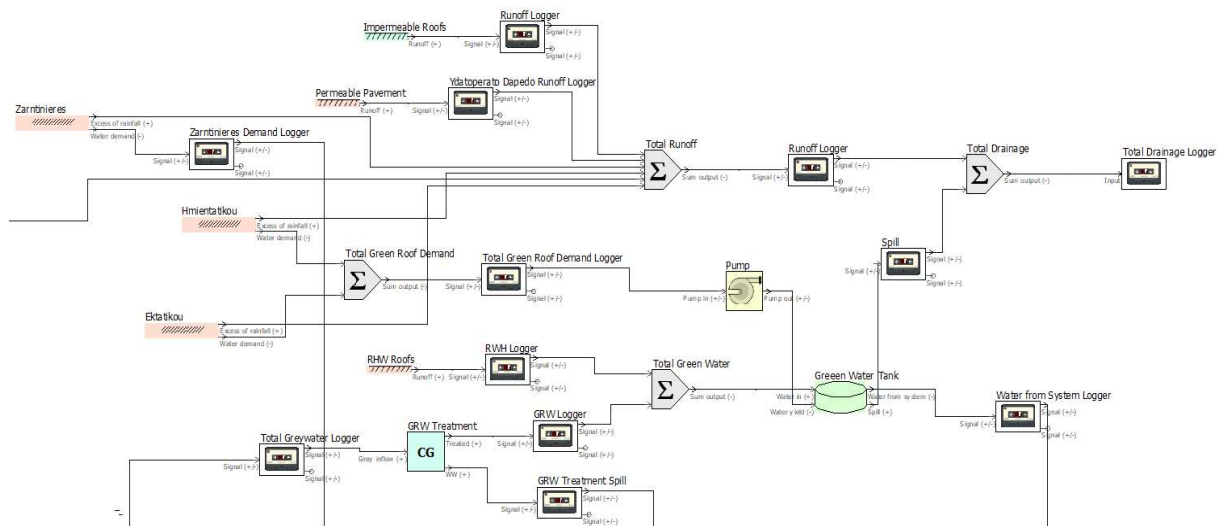


Γράφημα 24 Μηνιαία υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού

Medium-All



Εικόνα 56 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Medium-All



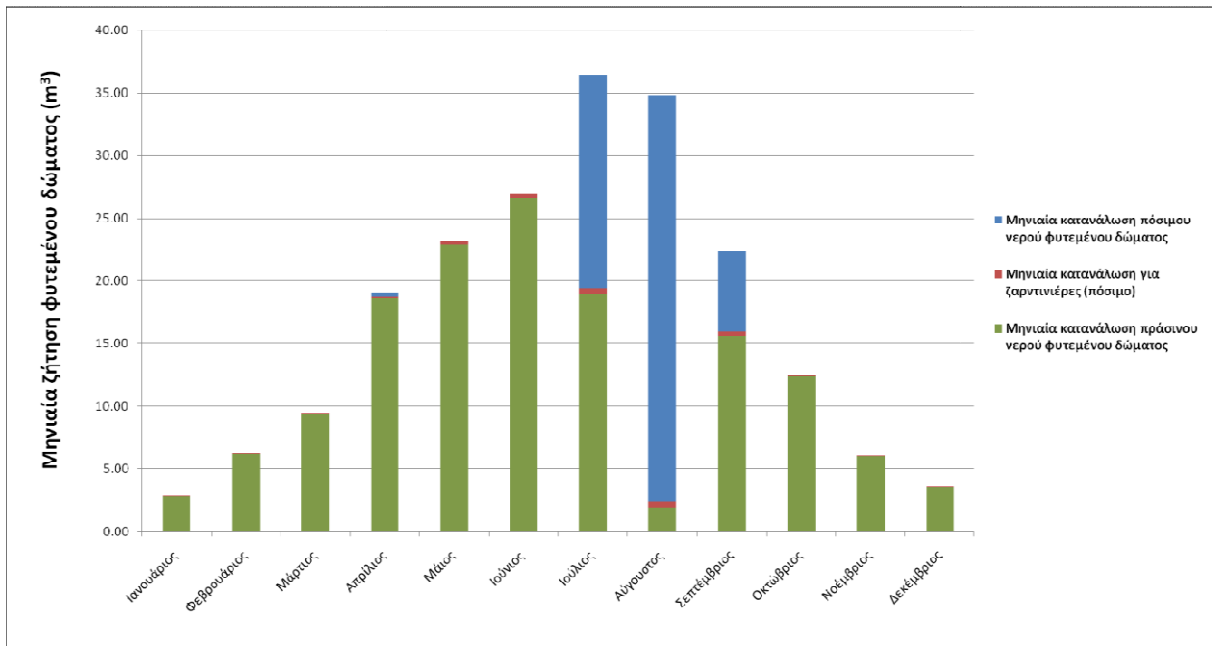
Εικόνα 57 Σχηματοποίηση μοντέλου Medium-All στο λογισμικό UWOT

Το σενάριο φύτευσης αυτό όπως φαίνεται και στην Εικόνα 56 είναι το ίδιο με το μοντέλο Medium-GWR στέγαστρο και για την άρδευση των φυτοδωμάτων επιλέξαμε το γκρι νερό να συλλέγεται και αφού περάσει από μια μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού, να καταλήγει σε κοινή δεξαμενή για γκρι νερό και βρόχινο νερό όπως και σε προηγούμενο μοντέλο. Από εκεί το πράσινο νερό θα προωθείται με αντλίες για την άρδευση του φυτοδώματος, ενώ όταν δεν επαρκεί θα αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 25, και στην Εικόνα 57 η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

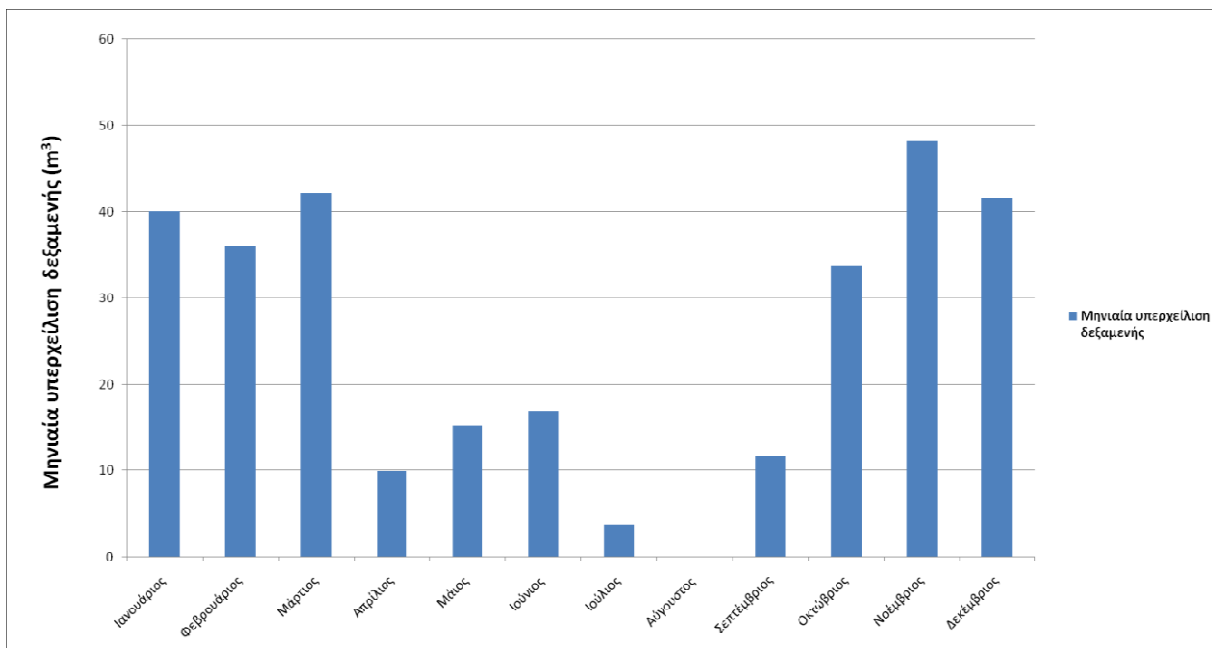
Πίνακας 25 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Medium-All (ετήσια κλίμακα)

Medium-All			
Κατανάλωση (m ³)	1258.71	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	0.00
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	833.67	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	299.56
Απορροή (m ³)	375.75	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	287.65
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	25.23%
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	16.34	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	39.78%
Ζήτηση στέγαστρο (m ³)	126.80	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2115.26
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	66.57%
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	1062.00
Ζήτηση φυτεμένων δωμαίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	203.73	Περατές επιφάνειες (%)	33.43%
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	NBS επιφάνειες (m ²)	611.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	58.39	NBS επιφάνειες (%)	19.23%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	145.34	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	1062.00
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	72.13%	Πράσινες επιφάνειες (%)	33.43%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	11.55%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	678.30
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	299.56	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	21.35%
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00		

Στο Γράφημα 25 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 26 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχείλιση της κοινής δεξαμενής γκρι και βρόχινου νερού.



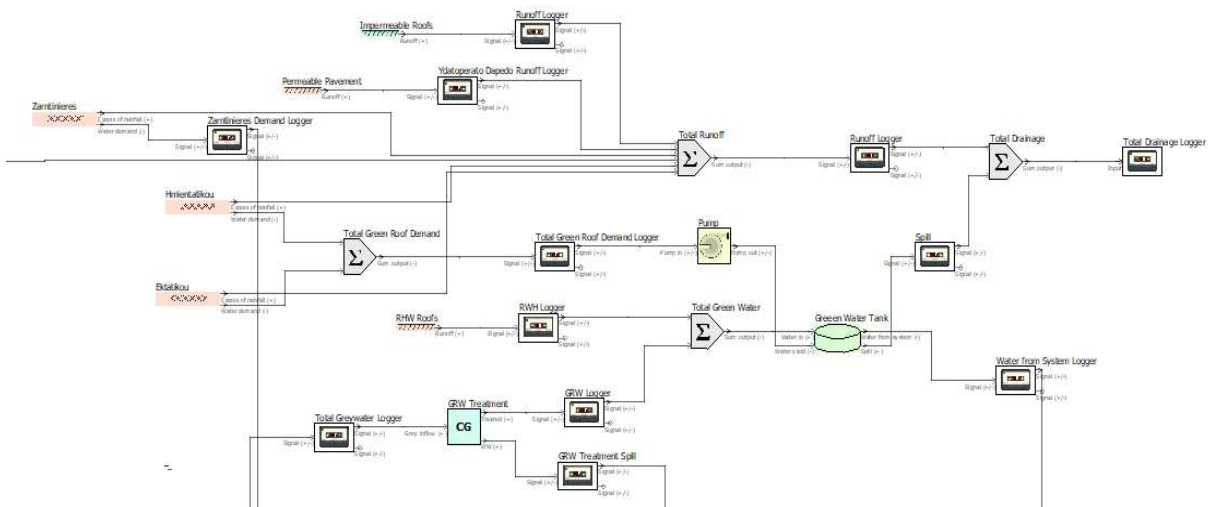
Γράφημα 25 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος



Γράφημα 26 Μηνιαία υπερχείλιση κοινής δεξαμενής



Εικόνα 58 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου High-All



Εικόνα 59 Σχηματοποίηση μοντέλου High-All στο λογισμικό UWT

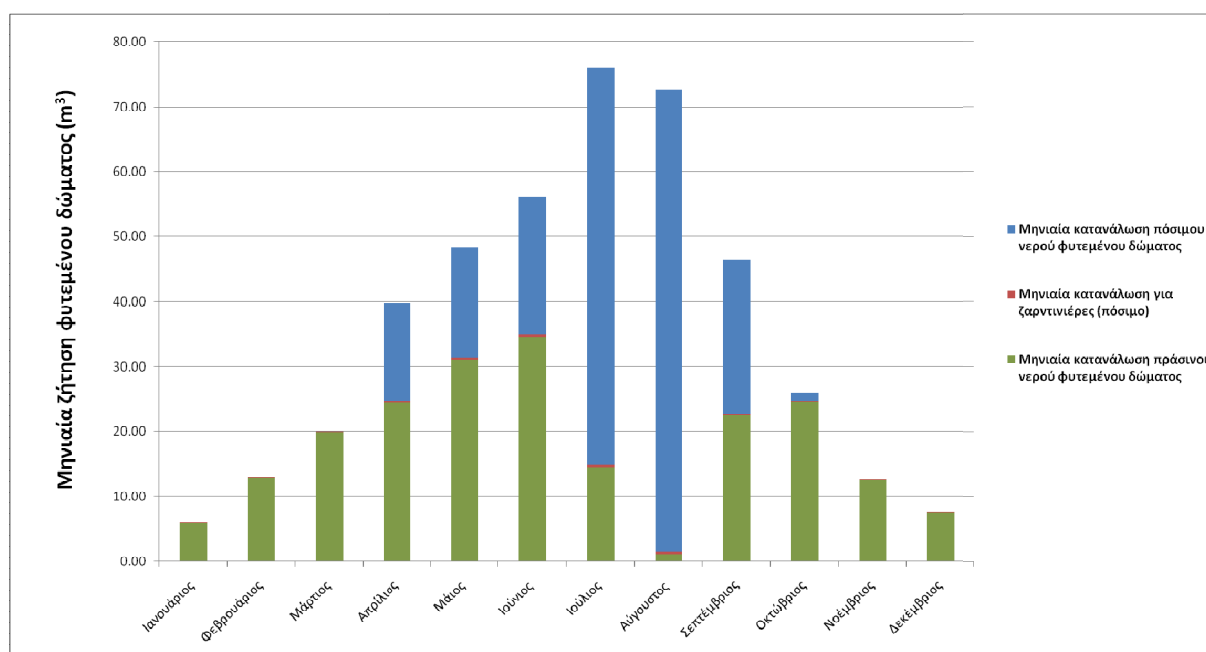
Σε αυτό το μοντέλο προσομοιώθηκε από άποψη φυτεύσεων το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων, το δώμα του διαδρόμου που ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών, το στέγαστρο, τα δώματα στην είσοδο του σχολείου και επιπρόσθετα σε σχέση με το Mediumσενάριο το δώμα στο βόρειο κτήριο αιθουσών (Εικόνα 58). Για την άρδευση των φυτοδωμάτων επιλέχθηκε, όπως και στα προηγούμενα μοντέλα, Low-All και Medium-All το γκρι νερό να συλλέγεται και αφού περάσει από μια μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού, να καταλήγει σε κοινή δεξαμενή για γκρι νερό και βρόχινο νερό. Η διαφορά με τα προηγούμενα σενάρια είναι ότι βρόχινο νερό συλλέγεται μόνο από το δώμα του νότιου κτηρίου αιθουσών. Από την δεξαμενή, το μίγμα των δύο ειδών νερού θα προωθείται με αντλίες για την άρδευση του φυτοδώματος, ενώ όταν δεν επαρκεί θα αντλείται πόσιμο

νερό από το δίκτυο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 26, και στην Εικόνα 59 η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

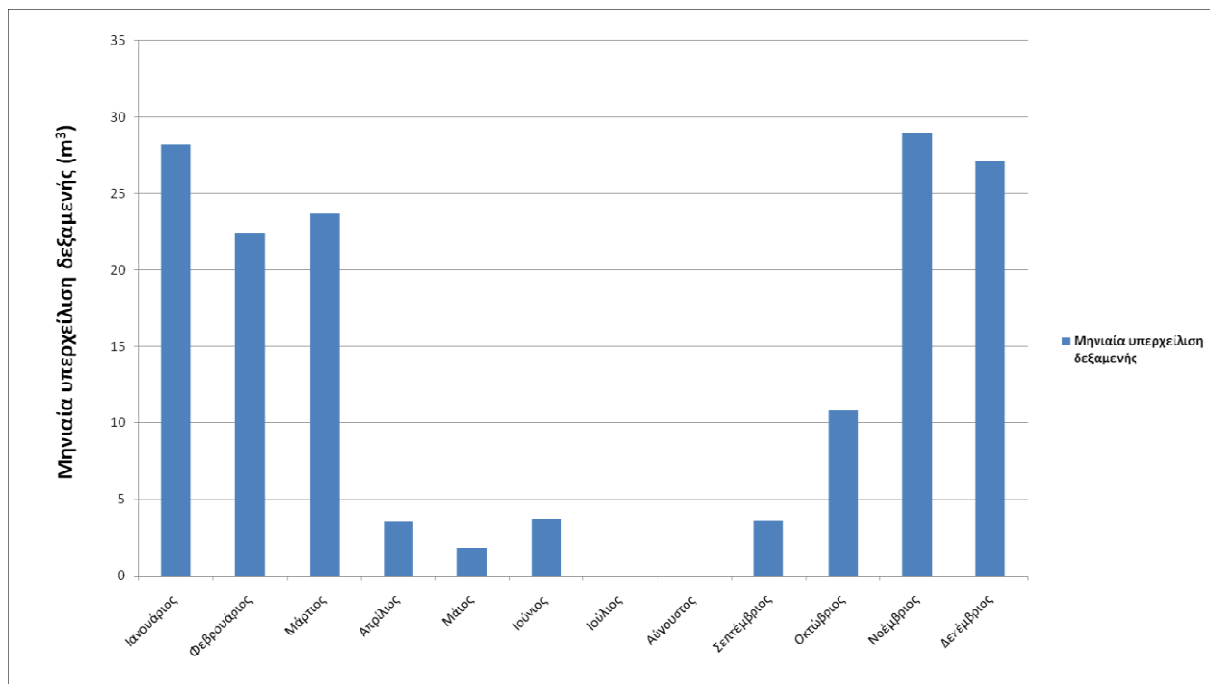
Πίνακας 26 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου High-All (ετήσια κλίμακα)

High-All			
Κατανάλωση (m ³)	1412.80	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	0.00
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	833.67	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	153.89
Απορροή (m ³)	347.79	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	294.71
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	25.23%
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	16.34	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	44.26%
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	126.80	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Ζήτηση εισόδου (m ³)	66.39	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	1646.66
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	154.26	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	51.83%
Ζήτηση από ζαρντιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	1530.60
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντιέρες (m ³)	424.38	Περατές επιφάνειες (%)	48.17%
Πόσιμο νερό για ζαρντιέρες (m ³)	2.22	NBS επιφάνειες (m ²)	1079.60
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	212.48	NBS επιφάνειες (%)	33.98%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	211.90	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	1530.60
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	50.19%	Πράσινες επιφάνειες (%)	48.17%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	15.00%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	350.70
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	153.89	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	11.04%
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00		

Στο Γράφημα 27 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 28 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχειλίση της κοινής δεξαμενής γκρι και βρόχινου νερού.



Γράφημα 27 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος

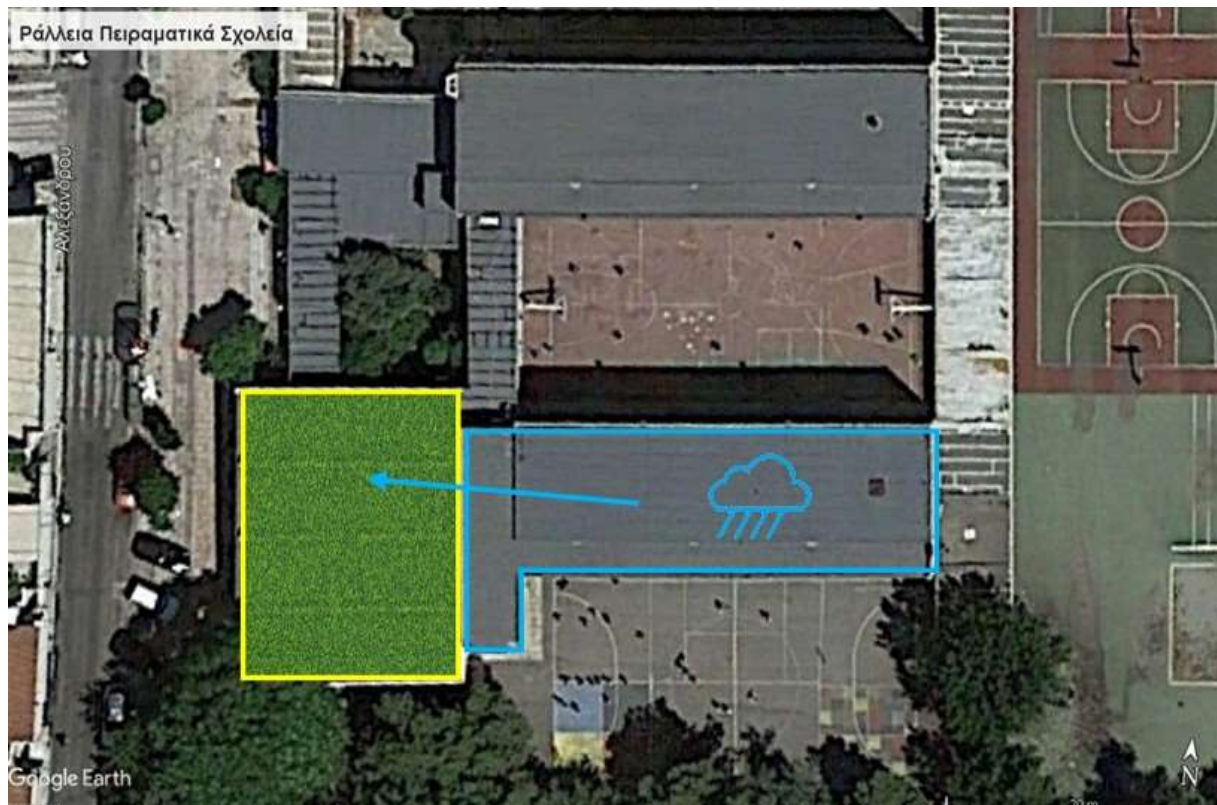


Γράφημα 28 Μηνιαία υπερχείλιση κοινής δεξαμενής

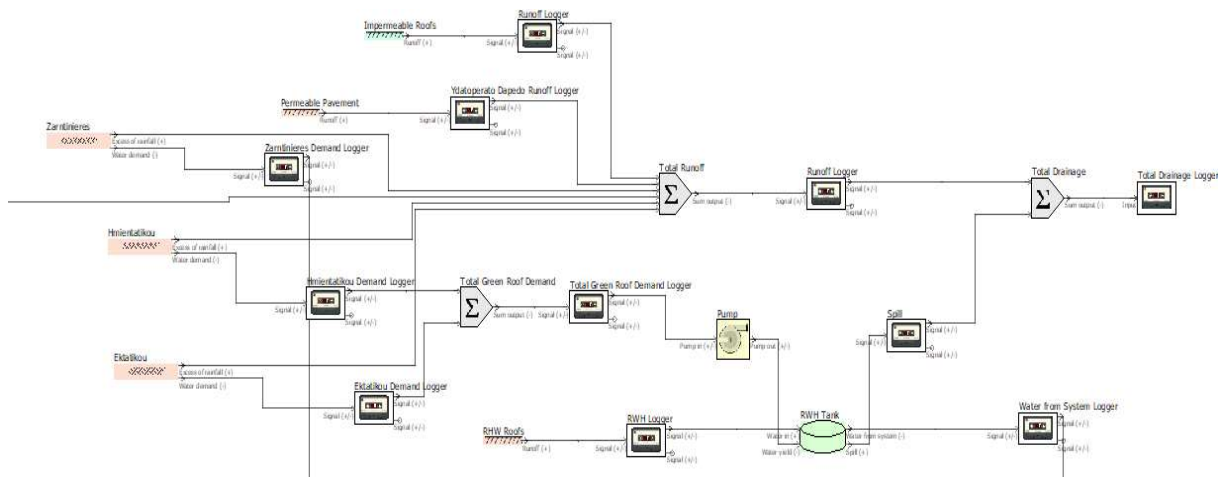
6.2.2 Μοντέλα προς εφαρμογή

Για τα πρακτικά μοντέλα, σε αντίθεση με τα θεωρητικά, ακολουθήθηκε μια προσέγγιση στα μοντέλα κατά την οποία λήφθηκαν υπόψη κατασκευαστικές και οικονομικές παράμετροι, με στόχο να προταθούν συγκεκριμένες διατάξεις για υλοποίηση. Σε αντίθεση με τα θεωρητικά μοντέλα, κατά τον υπολογισμό της απορροής συμπεριλήφθηκε και η υπερχείλιση της δεξαμενής βρόχινου νερού που καταλήγει στο δίκτυο ομβρίων, γιατί σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν δύο ξεχωριστές δεξαμενές για βρόχινο και γκρι νερό, οπότε οι ροές δεν αναμιγνύονται. Για τον ίδιο λόγο, στα συνολικά λύματα προσμετρείται η περίσσεια γκρι νερού που υπερχειλίζει. Τέλος, στην συγκεκριμένη περίπτωση, η ποσότητα γκρι νερού συλλέγεται μόνο από την βορειοανατολική συστοιχία βрусών και τους νιπτήρες στην τουαλέτα των μαθητών, καθώς αυτές οι πηγές γκρι νερού βρίσκονται κοντά στο φυτοδώμα του στεγάστρου, το οποίο προβλέπεται να αρδεύεται με γκρι νερό, και βολεύει κατασκευαστικά.

Low-RWH 1



Εικόνα 60 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Low-RWH 1



Εικόνα 61 Σχηματοποίηση μοντέλου Low-RWH 1 στο λογισμικό U2D2

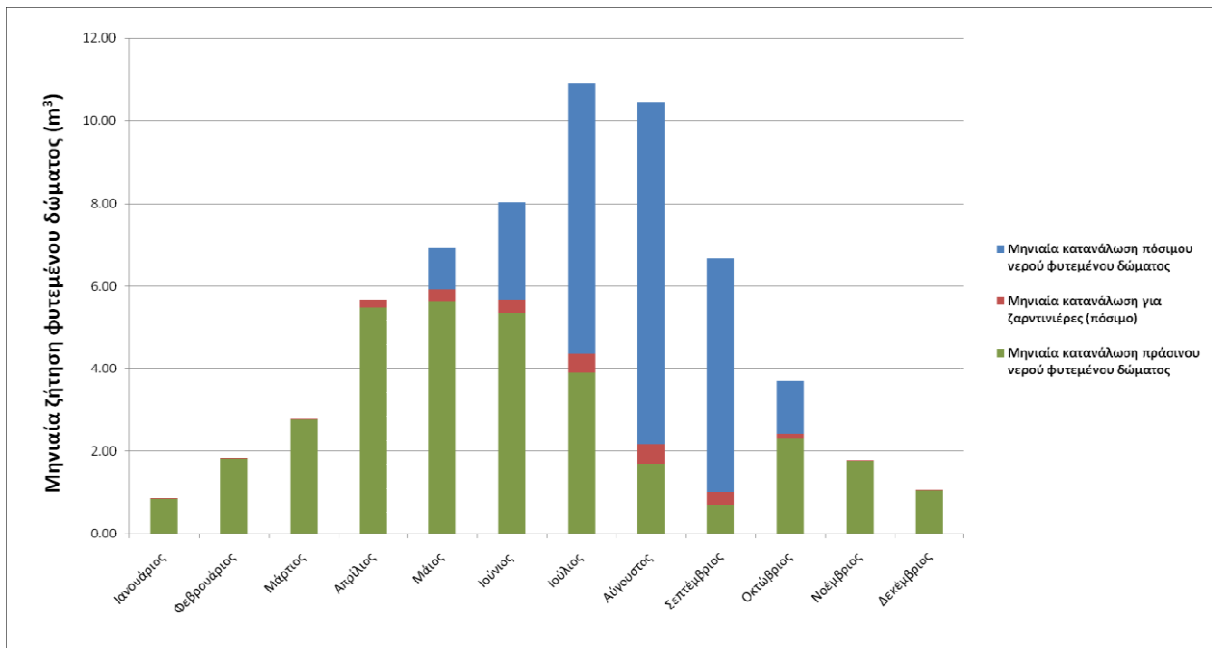
Σε αυτό το μοντέλο προσομοιώσαμε από άποψη φυτεύσεων μόνο το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων όπως φαίνεται στην Εικόνα 60. Εδώ θεωρήσαμε ένα δώμα συλλογής βρόχινου νερού, καθώς στα πρακτικά σενάρια θέλαμε στον σχεδιασμό να συμπεριλάβουμε και κατασκευαστικές παραμέτρους. Έτσι επιλέξαμε μόνο το δώμα που βρίσκεται πιο κοντά στον πολυχώρο γιατί είναι πιο εφικτό να κατασκευαστεί το δίκτυο για την συλλογή των ομβρίων. Επίσης από τις επισκέψεις που έγιναν στον χώρο, διαπιστώθηκε πως η ιδανική θέση για την χωροθέτηση της δεξαμενής βρίσκεται στον χώρο του αλσουλίου και δίπλα από την νότια συστοιχία βрусών. Επομένως, άλλη μία παράμετρος για την επιλογή ενός μόνο δώματος συλλογής βρόχινου νερού ήταν η εγγύτητα του δώματος στην δεξαμενή αποθήκευσης. Από εκεί με χρήση αντλιών θα πηγαίνει για άρδευση στο φυτοδώμα του

πολυώρου του σχολείου, ενώ όταν δεν επαρκεί θα αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 27, και στην Εικόνα 61 η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

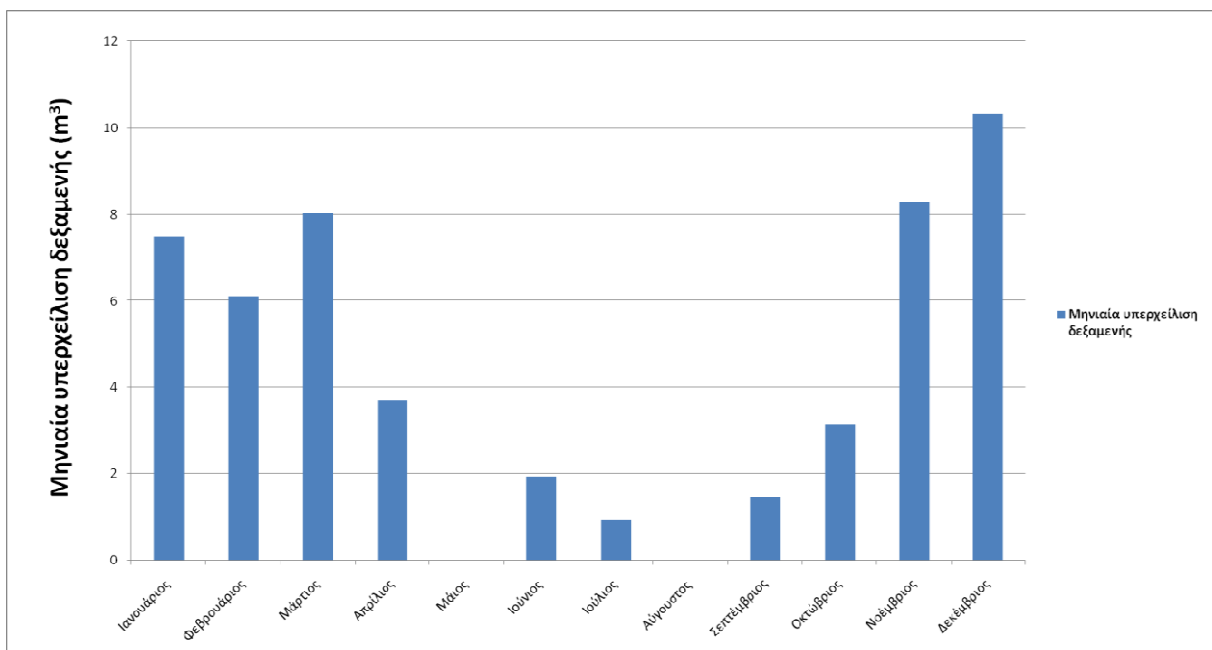
Πίνακας 27 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Low-RWH 1 (ετήσια κλίμακα)

Low-Rain 1			
Κατανάλωση (m ³)	1227.74	Αυτονομία πολυώρου (%)	56.83%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	56.83%
Απορροή (m ³)	575.55	Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	2.70%
Ζήτηση πολυώρου (m ³)	58.37	Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	0.00	Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	51.40
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	0.00	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρί νερού (m ³)	0.00
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	51.40
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	1.87
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	0.00%
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	60.59	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	7.76%
Πόσιμο νερό για πολυώρο (m ³)	25.20	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Πόσιμο νερό για πολυώρο και διάδρομο (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2419.26
Πόσιμο νερό για στέγαστρο (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	76.14%
Πόσιμο νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	Περατές επιφάνειες (m ²)	758.00
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (%)	23.86%
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	27.42	NBS επιφάνειες (m ²)	307.00
Γκρί νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	NBS επιφάνειες (%)	9.66%
Βρόχινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	33.17	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	758.00
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	33.17	Πράσινες επιφάνειες (%)	23.86%
Γκρί νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	327.10
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα και WC	33.17	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	10.30%

Στο Γράφημα 29 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 30 απεικονίζεται η μηνιαία υπερχείλιση της δεξαμενής βρόχινου νερού.



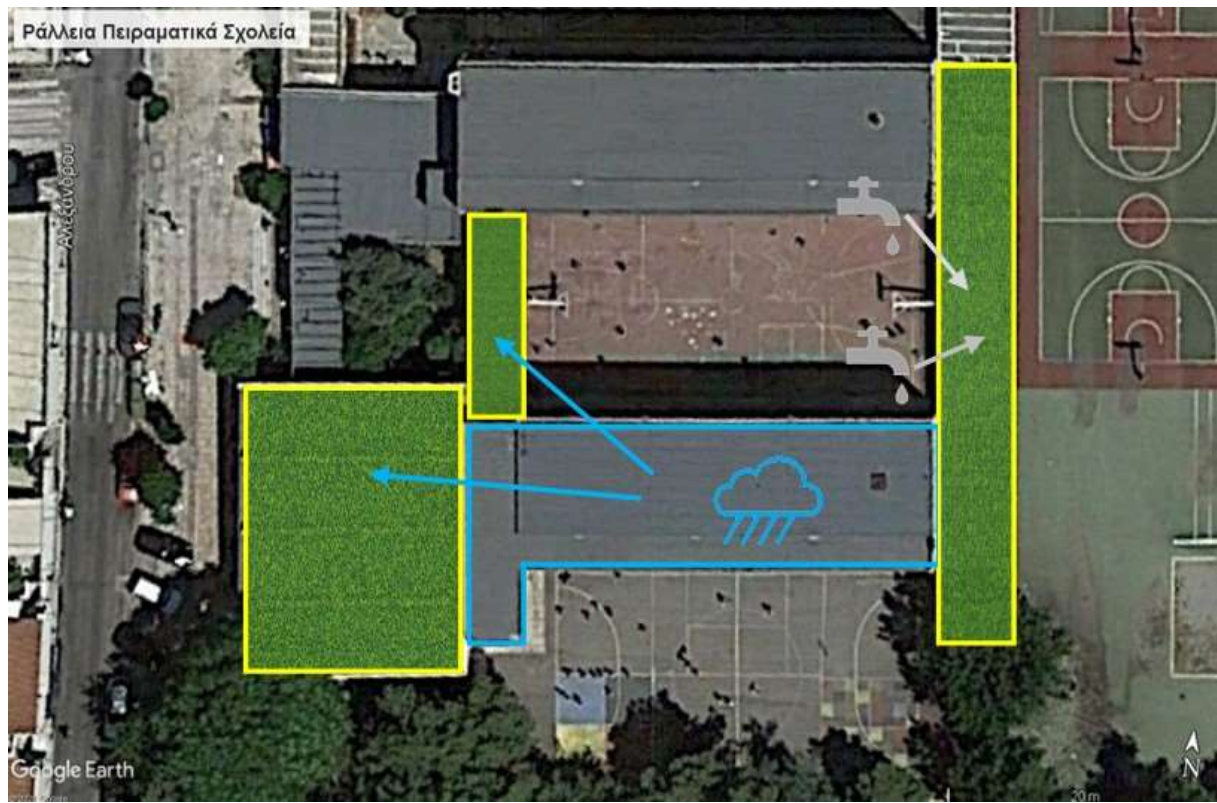
Γράφημα 29 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος



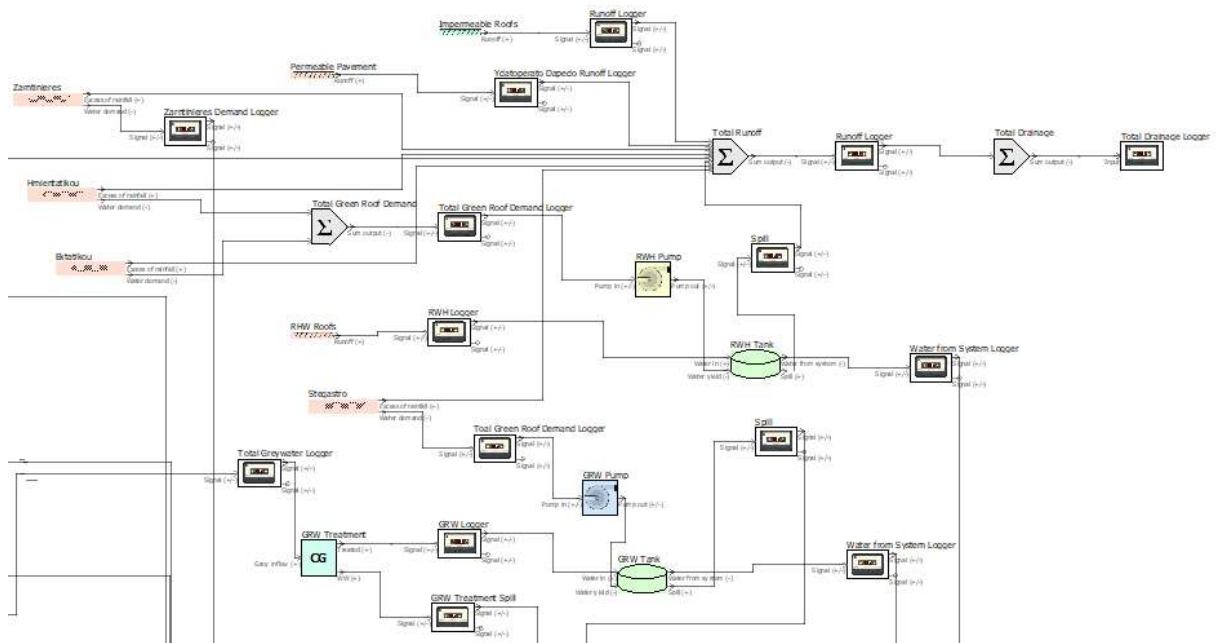
Γράφημα 30 Μηνιαία υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού

Low-RWH 2

Το μοντέλο αυτό είναι ουσιαστικά ακριβώς το ίδιο με το σενάριο Low-RWH από τα θεωρητικά μοντέλα με τα δύο δώματα συλλογής βρόχινου νερού και έχει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.



Εικόνα 62 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Medium-All



Εικόνα 63 Σχηματοποίηση μοντέλου Medium-All στο λογισμικό UWOT

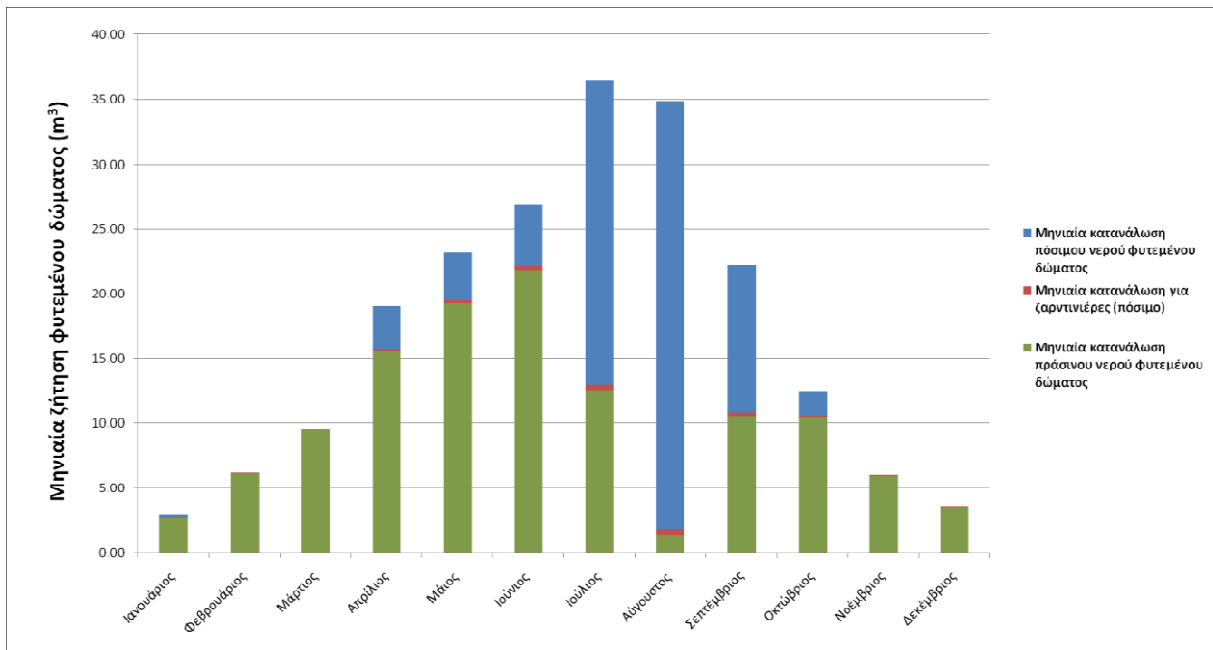
Αυτό το σενάριο έχει τις ίδιες περιπτώσεις φυτεύσεων όπως και στο σενάριο Medium-All στα θεωρητικά σενάρια, δηλαδή το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων, το δώμα του διαδρόμου που ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών και το στέγαστρο, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 62 και στα αποτελέσματα του Πίνακα 28. Η διαφορά τους είναι ότι εδώ δεν υπάρχει μία κοινή δεξαμενή και για τις δύο ροές ανακυκλωμένου νερού (βρόχινο και γκρι νερό) αλλά δύο ξεχωριστές, μία δεξαμενή 10 m³ για το βρόχινο νερό και μια δεξαμενή 2 m³

για το επεξεργασμένο γκρι νερό. Επίσης οι ταράτσες του πολυχώρου και του διαδρόμου που ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών θα ποτίζονται αποκλειστικά από βρόχινο νερό και το στέγαστρο αποκλειστικά από γκρι νερό, καθώς αυτή η διάταξη μπορεί να υλοποιηθεί πιο εύκολα και οδηγεί σε συνολική μείωση του προϋπολογισμού του έργου. Με χρήση αντλιών η κάθε ροή θα προωθείται για την άρδευση των φυτοδωμάτων, ενώ όταν δεν επαρκούν θα αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Στην Εικόνα 63 παρουσιάζεται η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

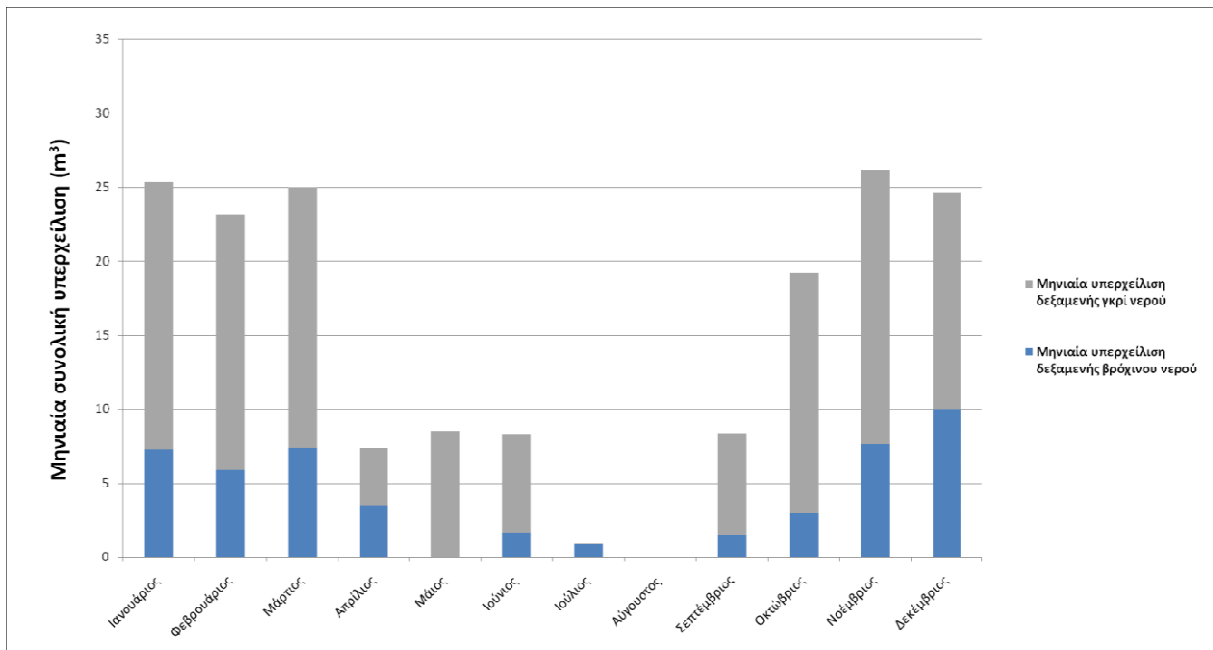
Πίνακας 28 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Medium-All (ετήσια κλίμακα)

Medium-All			
Κατανάλωση (m ³)	1284.25	Αυτονομία στεγάστρου (%)	66.07%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1031.18	Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	59.45%
Απορροή (m ³)	503.30	Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	9.33%
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	16.34	Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	48.55
Ζήτηση στέγαστρο (m ³)	126.80	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	128.40
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	176.95
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	216.07
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	7.52%
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	203.73	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	19.34%
Πόσιμο νερό για πολυχώρο και διάδρομο (m ³)	38.68	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Πόσιμο νερό για στέγαστρο (m ³)	43.03	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2115.26
Πόσιμο νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	66.57%
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	1062.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	83.93	Περατές επιφάνειες (%)	33.43%
Γκρι νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	83.78	NBS επιφάνειες (m ²)	611.00
Βρόχινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	36.02	NBS επιφάνειες (%)	19.23%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	119.80	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	1062.00
Γκρι νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	Πράσινες επιφάνειες (%)	33.43%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα και WC	119.80	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	327.10
Αυτονομία πολυχώρου και διαδρόμου (%)	48.22%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	10.30%

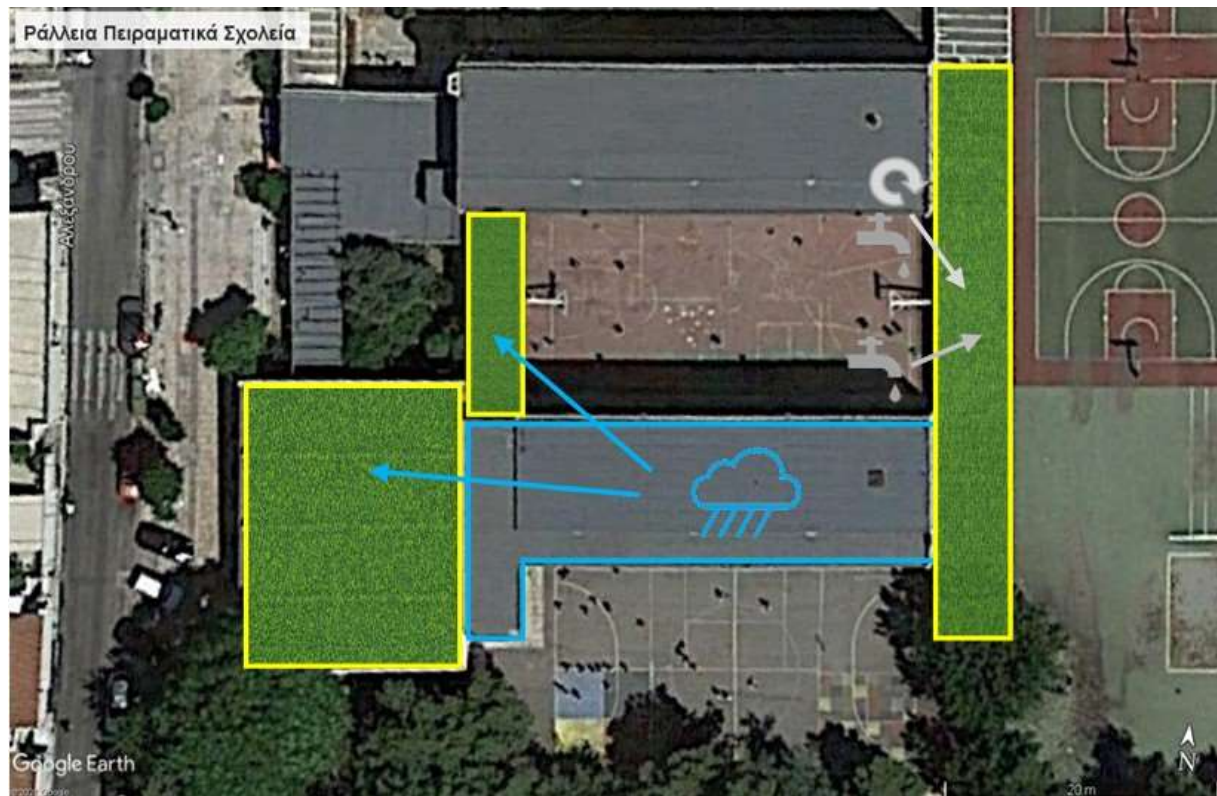
Στο Γράφημα 31 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 32 απεικονίζεται η μηνιαία συνολική υπερχείλιση, όπως προκύπτει από το άθροισμα της δεξαμενής γκρι νερού και της δεξαμενής βρόχινου νερού.



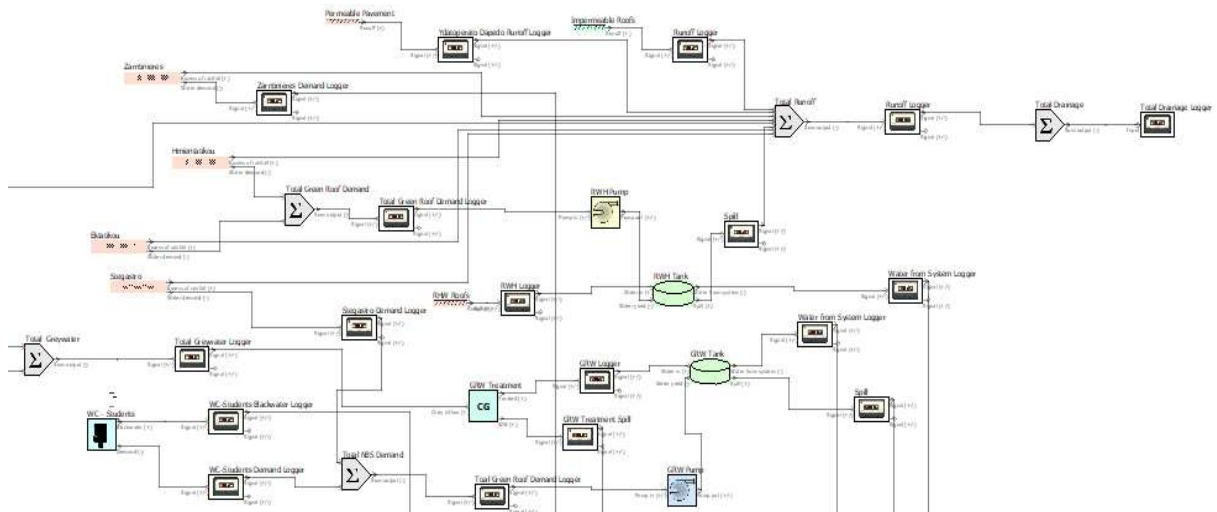
Γράφημα 31 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένου δώματος



Γράφημα 32 Μηνιαία συνολική υπερχείλιση



Εικόνα 64 Σχηματική απεικόνιση μοντέλου Medium-All+GWR for WC



Εικόνα 65 Σχηματοποίηση μοντέλου Medium-All +GWR for WC στο λογισμικό UWOT

Το μοντέλο αυτό, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 64, έχει την ίδια διάταξη με το προηγούμενο Medium-All, δηλαδή προτείνονται για φύτευση το δώμα της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων, το δώμα του διαδρόμου που ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών και το στέγαστρο και χρησιμοποιούμε δύο ξεχωριστές δεξαμενές, με την σημαντική διαφορά πως το νερό από την δεξαμενή γκρι νερού χρησιμοποιείται όχι μόνο για το πότισμα του στέγαστρου αλλά και για να γεμίζουν τα καζανάκια της τουαλέτας των μαθητών. Και πάλι οι ταράτσες του πολυχώρου και του διαδρόμου που ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών θα ποτίζονται αποκλειστικά από βρόχινο νερό και το στέγαστρο αποκλειστικά από γκρι νερό. Με χρήση αντλιών η κάθε ροή θα προωθείται για την άρδευση των φυτοδωμάτων, ενώ

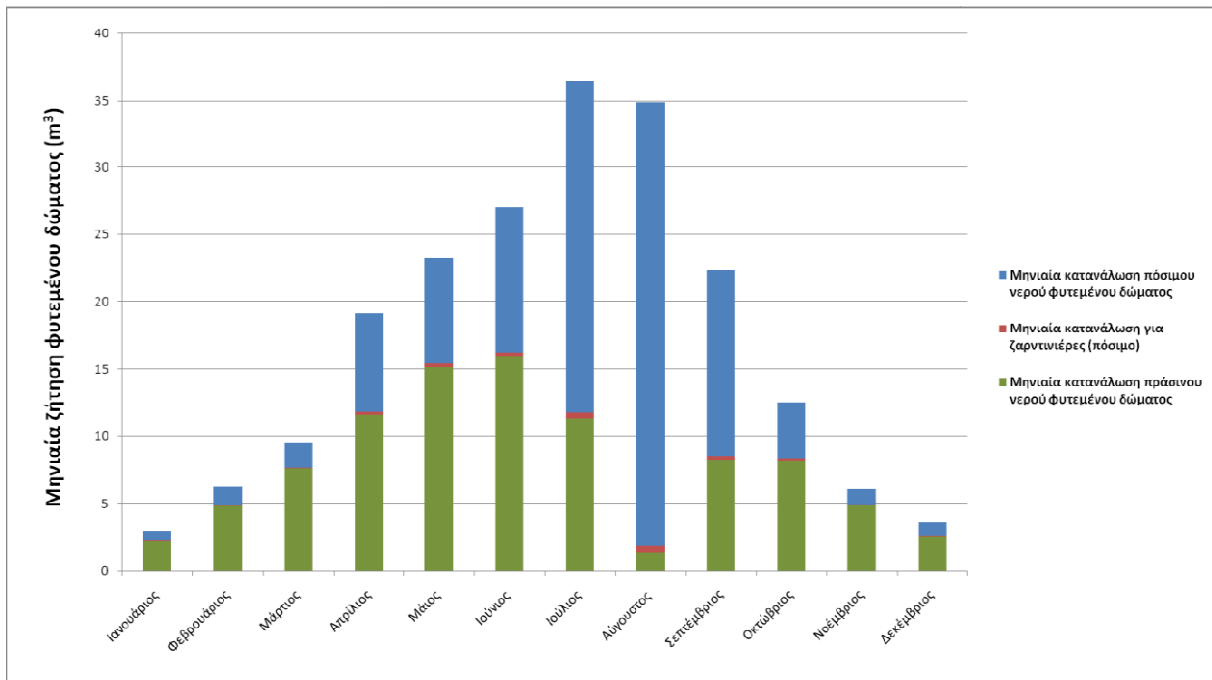
όταν δεν επαρκούν οι παραγόμενες ποσότητες θα αντλείται πόσιμο νερό από το δίκτυο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 29. Στην Εικόνα 65 παρουσιάζεται η σχηματοποίηση του μοντέλου στο UWOT, στην οποία φαίνονται κυρίως οι διαφορές από το σενάριο αναφοράς.

Πίνακας 29 Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου Medium-All+GWR for WC (ετήσια κλίμακα)

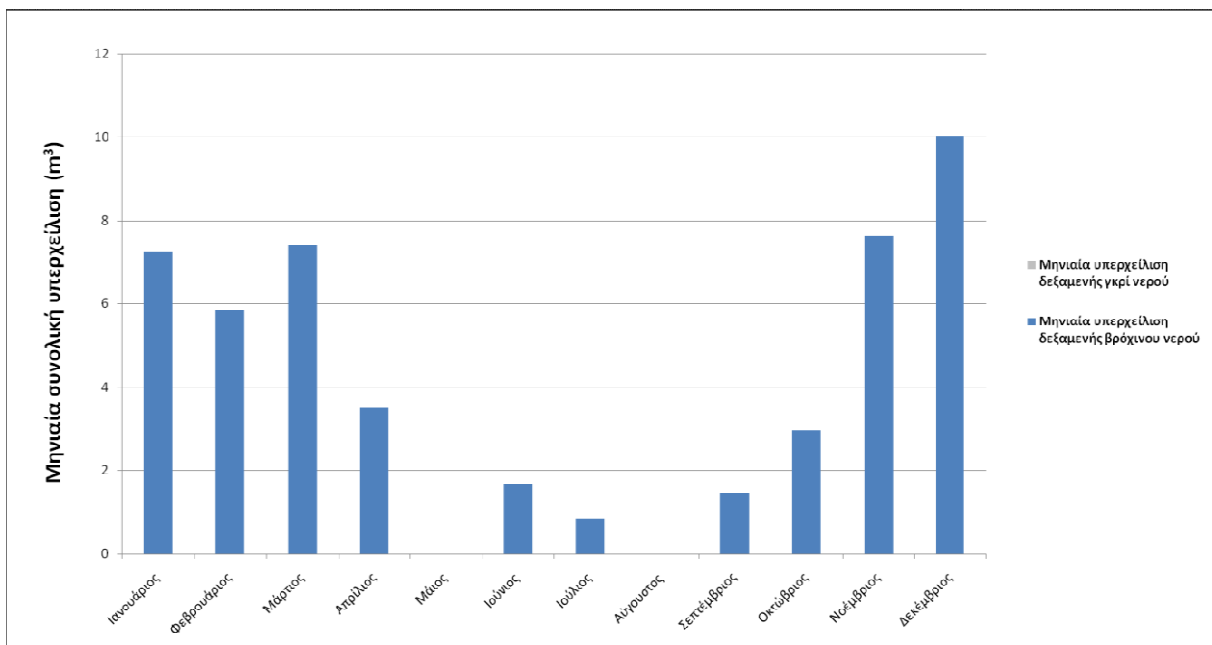
Medium-All + GWR for WC			
Κατανάλωση (m ³)	1155.80	Αυτονομία στεγάστρου (%)	45.64%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	902.78	Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	46.59%
Απορροή (m ³)	503.30	Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	21.47%
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	58.37	Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	16.34	Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	48.55
Ζήτηση στέγαστρου (m ³)	126.80	Υπερχείλιση δεξαμενής γκρι νερού (m ³)	0.00
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	Υπερχείλιση συνολική (m ³)	48.55
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	224.00
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	19.03%
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες (m ³)	203.73	Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	19.34%
Πόσιμο νερό για πολυχώρο και διάδρομο (m ³)	38.68	Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81
Πόσιμο νερό για στέγαστρο (m ³)	68.94	Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2115.26
Πόσιμο νερό για WC μαθητών (m ³)	506.58	Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	66.57%
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	2.22	Περατές επιφάνειες (m ²)	1062.00
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	109.84	Περατές επιφάνειες (%)	33.43%
Γκρι νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	212.22	NBS επιφάνειες (m ²)	611.00
Βρόχινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	36.02	NBS επιφάνειες (%)	19.23%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	93.89	Πράσινες επιφάνειες (m ²)	1062.00
Γκρι νερό για WC μαθητών (m ³)	154.29	Πράσινες επιφάνειες (%)	33.43%
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα και WC	248.18	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	327.10
Αυτονομία πολυχώρου και διαδρόμου (%)	48.22%	Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	10.30%

Προκειμένου να υπολογιστεί η αυτονομία του συνολικού συστήματος σε αυτό το σενάριο, αλλά και το πόσιμο και το πράσινο νερό που καταναλώνεται για κάθε ζήτηση, έπρεπε να γίνει μια παραδοχή καθώς δεν γινόταν να υπολογιστεί στο UWOT ξεχωριστά τι ποσοστό πράσινου και πόσιμου νερού χρησιμοποιείται για το στέγαστρο και τι ποσοστό για τα καζανάκια του WC των μαθητών. Συγκεκριμένα, θεωρήσαμε πως σε κάθε χρονικό βήμα του μοντέλου (ημερήσιο βήμα) θα ικανοποιείται κατά προτεραιότητα η ζήτηση του φυτοδώματος του στεγάστρου με γκρι νερό και στην συνέχεια στην περίπτωση που υπάρχει περίσσεια μέσα στην δεξαμενή γκρι νερού αυτή θα χρησιμοποιείται για τα καζανάκια.

Στο Γράφημα 33 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση του φυτοδώματος σε μορφή γραφήματος στήλης όπως προκύπτει από την προσομοίωση και στο Γράφημα 34 απεικονίζεται η μηνιαία συνολική υπερχειλίση.

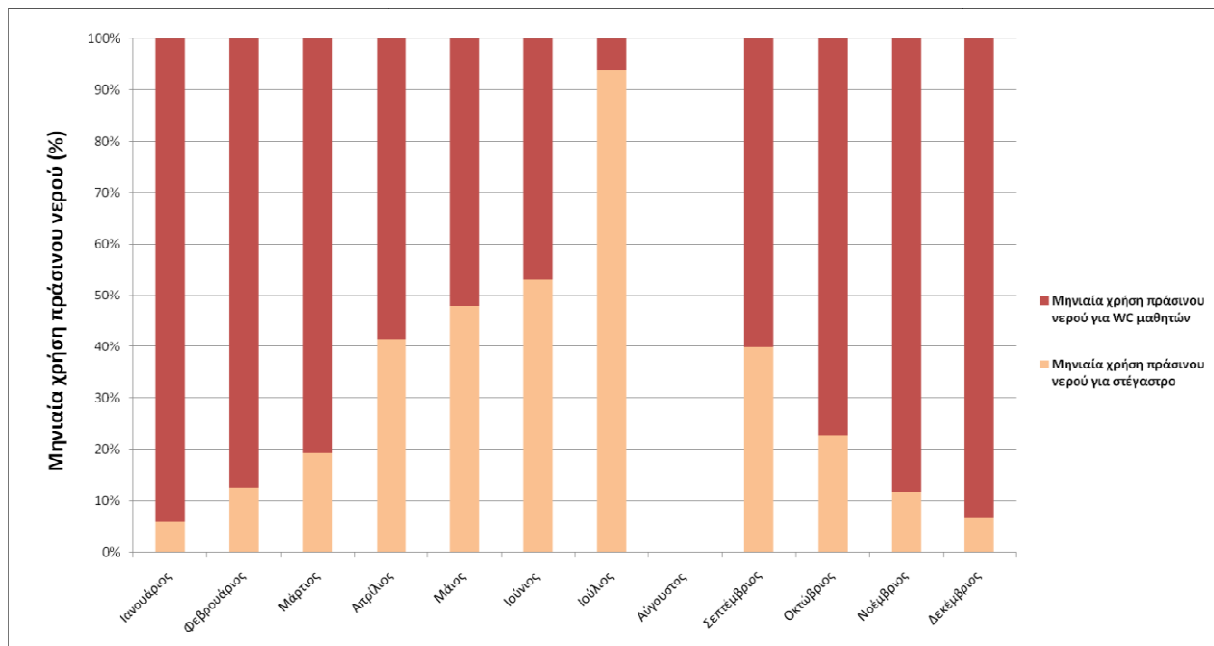


Γράφημα 33 Μηνιαία κατανάλωση φυτεμένων δωματίων

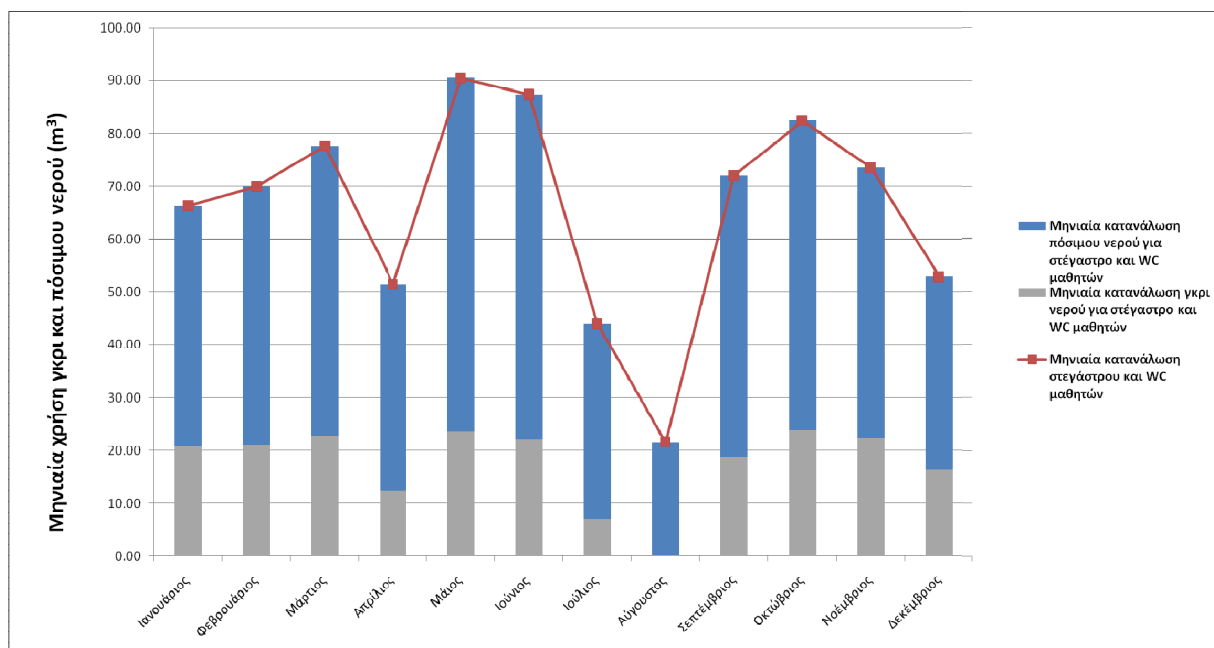


Γράφημα 34 Μηνιαία συνολική υπερχειλίση

Επίσης, στο Γράφημα 35 παρουσιάζεται η μηνιαία χρήση του πράσινου νερού για τα WC των μαθητών και το στέγαστρο και στο Γράφημα 36 απεικονίζεται η μηνιαία χρήση γκρι κι πόσιμου νερού για αυτά.



Γράφημα 35 Μηνιαία εκμετάλλευση πράσινου νερού



Γράφημα 36 Μηνιαία χρήση γκρι και πόσιμου νερού για το στέγαστρο και τα WC των μαθητών

6.3 Σύγκριση μοντέλων

Όπως αναφέραμε και στο Υποκεφάλαιο 5.3, τα μοντέλα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και έχουν ορισμένες σημαντικές διαφορές στον σχεδιασμό τους. Στα θεωρητικά μοντέλα, που παρουσιάζουν περισσότερο ερευνητικό ενδιαφέρον, κατά τον υπολογισμό της απορροής, δεν συμπεριλάβαμε την υπερχειλίση που έφευγε από την δεξαμενή και κατέληγε στο δίκτυο ομβρίων. Αυτό έγινε γιατί η δεξαμενή ήταν κοινή, επομένως στην υπερχειλίση θα υπήρχε και κάποια ποσότητα γκρι νερού, κάτι που δεν θέλαμε να το εισάγουμε στην απορροή προς το δίκτυο ομβρίων καθώς το σωστό είναι να καταλήγει στο δίκτυο ακαθάρτων, ενώ θα δημιουργούσε και μια σύγχυση κατά την σύγκριση με τα μοντέλα που δεν γίνεται ανακύκλωση γκρι νερού. Για τον ίδιο λόγο, στα συνολικά λύματα δεν προσμετρείται η περίσσεια γκρι νερού που υπερχειλίζει, ενώ η ποσότητα γκρι νερού συλλέγεται από τις εξωτερικές συστοιχίες βρυσών και τους νιπτήρες στην τουαλέτα των μαθητών. Αντίθετα, στα πρακτικά μοντέλα κατά τον υπολογισμό της απορροής συμπεριλάβαμε και την υπερχειλίση της δεξαμενής βρόχινου νερού που καταλήγει στο δίκτυο ομβρίων, γιατί εδώ έχουμε δύο ξεχωριστές δεξαμενές για βρόχινο και γκρι νερό, οπότε οι ροές δεν αναμιγνύονται. Για τον ίδιο λόγο, στα συνολικά λύματα προσμετράται η περίσσεια γκρι νερού που υπερχειλίζει, ενώ η ποσότητα γκρι νερού συλλέγεται μόνο από την βορειοανατολική συστοιχία βρυσών και τους νιπτήρες στην τουαλέτα των μαθητών. Εξαιτίας αυτών των σημαντικών διαφορών είναι αδύνατο να γίνει απευθείας σύγκριση των σεναρίων των 2 κατηγοριών.

Παρακάτω παρατίθενται τα συγκριτικά γραφήματα και πίνακες ανά κατηγορία σεναρίων. Επίσης παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που κάναμε για λόγους σύγκρισης, των σεναρίων όπου δεν χρησιμοποιούμε τεχνολογίες ανακύκλωσης νερού αλλά όλες οι χρήσεις και η άρδευση στον σχολείο ικανοποιούνται αποκλειστικά από πόσιμο νερό (Potable).

6.3.1 Θεωρητικά σενάρια

Στον Πίνακα 30 βλέπουμε τα αποτελέσματα για όλα τα Θεωρητικά Σενάρια NBS (NBS Scenarios) μαζί με το Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario). Σημαντικοί δείκτες επίδοσης αποτελούν η αυτονομία του συστήματος και ο βαθμός επαναχρησιμοποίησης η μεταβολή των οποίων (μέσες ετήσιες τιμές) ανά σενάριο φαίνεται στο Γράφημα 39 και στο Γράφημα 40.

Πίνακας 30 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων θεωρητικών μοντέλων

	Baseline Scenario	Θεωρητικά μοντέλα					
		Low-RWH	Low-GWR	Low-All	Medium-GWR	Medium-All	High-All
Κατανάλωση (m ³)	1200.32	1222.13	1205.52	1204.46	1262.10	1258.71	1412.80
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	1115.00	833.67	833.67	833.67	833.67	833.67
Απορροή (m ³)	623.98	569.95	608.72	445.15	539.33	375.75	347.79
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	0.00	58.37	58.37	58.37	58.37	58.37	58.37
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	16.34	16.34	16.34
Ζήτηση στεγάστρου (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	126.80	126.80	126.80
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.39
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	154.26
Ζήτηση από ζαρντιέρες (m ³)	0.00	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντιέρες (m ³)	0.00	60.59	60.59	60.59	203.73	203.73	424.38
Πόσιμο νερό για πολυχώρο (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Πόσιμο νερό για πολυχώρο και διάδρομο (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Πόσιμο νερό για στεγάστρο (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Πόσιμο νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Πόσιμο νερό για ζαρντιέρες (m ³)	0.00	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	21.82	5.20	4.14	61.79	58.39	212.48
Γκρί νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Βρόχινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	38.77	55.39	56.45	141.95	145.34	211.90
Γκρί νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα και WC μαθητών (m ³)	0.00	-	-	-	-	-	-
Αυτονομία πολυχώρου (%)	0.00	-	-	-	-	-	-
Αυτονομία πολυχώρου και διαδρόμου (%)	0.00	-	-	-	-	-	-
Αυτονομία στεγάστρου (%)	0.00	-	-	-	-	-	-
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	0.00%	66.43%	94.90%	96.72%	70.44%	72.13%	50.19%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	0.00%	3.17%	4.59%	4.69%	11.25%	11.55%	15.00%
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00	120.73	0.00	388.45	0.00	299.56	153.89
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Υπερχείλιση δεξαμενής γκρί νερού (m ³)	0.00	0.00	225.92	0.00	139.31	0.00	0.00
Υπερχείλιση συνολική (m ³)	0.00	120.73	225.92	388.45	139.31	299.56	153.89
Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	0.00	1.87	283.07	283.07	287.65	287.65	294.71
Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	0.00%	0.00%	25.23%	25.23%	25.23%	25.23%	25.23%
Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	0.00%	8.66%	2.45%	28.66%	13.57%	39.78%	44.26%
Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81	875.81	875.81	875.81	875.81	875.81	875.81
Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2542.26	2419.26	2419.26	2419.26	2115.26	2115.26	1646.66
Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	80.01%	76.14%	76.14%	76.14%	66.57%	66.57%	51.83%
Περατές επιφάνειες (m ²)	635.00	758.00	758.00	758.00	1062.00	1062.00	1530.60
Περατές επιφάνειες (%)	19.99%	23.86%	23.86%	23.86%	33.43%	33.43%	48.17%
NBS επιφάνειες (m ²)	0.00	307.00	307.00	307.00	611.00	611.00	1079.60
NBS επιφάνειες (%)	0.00%	9.66%	9.66%	9.66%	19.23%	19.23%	33.98%
Πράσινες επιφάνειες (m ²)	635.00	758.00	758.00	758.00	1062.00	1062.00	1530.60
Πράσινες επιφάνειες (%)	19.99%	23.86%	23.86%	23.86%	33.43%	33.43%	48.17%
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	0.00	678.30	0.00	678.30	0.00	678.30	350.70
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	0.00%	21.35%	0.00%	21.35%	0.00%	21.35%	11.04%

Επίσης, στον Πίνακα 31 παρουσιάζεται με μορφή ποσοστών η εξοικονόμηση που πετυχαίνουμε στην συνολική κατανάλωση νερού από το δίκτυο, στην παραγωγή λυμάτων και στην απορροή του σχολείου για κάθε σενάριο και σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς (Baseline Scenario), κάτι που φαίνεται και στο Γράφημα 37.

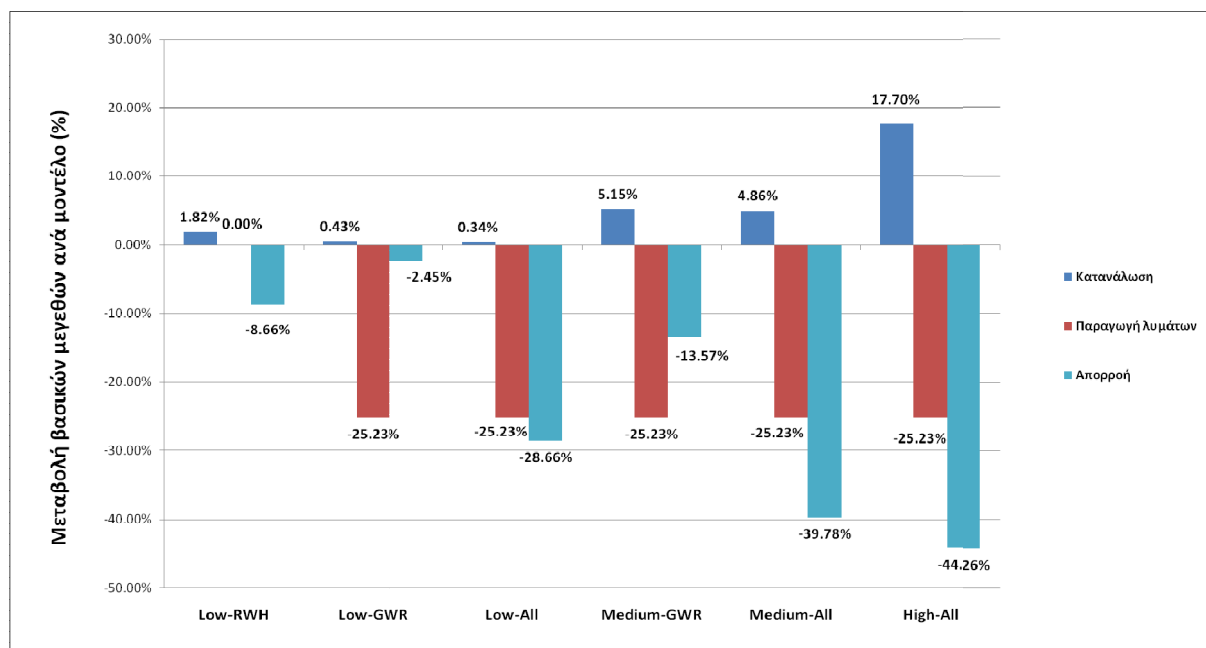
Ομοίως, στον Πίνακα 32, στον Πίνακα 33 και Πίνακα 34 φαίνεται το ποσοστό εξοικονόμησης για τις ίδιες ροές για κάθε σενάριο αλλά αυτήν την φορά σε σύγκριση με το μοντέλο για το οποίο η άρδευση των φυτοδωμάτων γίνεται μόνο με την χρήση πόσιμου νερού, χωρίς καμία ανακύκλωση νερού.

Πίνακας 31 Σύγκριση βασικών μεγεθών ανά σενάριο σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση στο σχολείο

	Baseline Scenario	Θεωρητικά μοντέλα					
		Low-RWH	Low-GWR	Low-All	Medium-GWR	Medium-All	High-All
Κατανάλωση (m ³)	1200.32	1222.13	1205.52	1204.46	1262.10	1258.71	1412.80
		1.82%	0.43%	0.34%	5.15%	4.86%	17.70%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	1115.00	833.67	833.67	833.67	833.67	833.67
		0.00%	-25.23%	-25.23%	-25.23%	-25.23%	-25.23%
Απορροή (m ³)	623.98	569.95	608.72	445.15	539.33	375.75	347.79
		-8.66%	-2.45%	-28.66%	-13.57%	-39.78%	-44.26%

Πίνακας 32 Σύγκριση μοντέλων (Low) με την περίπτωση όπου για όλες τις χρήσεις και την άρδευση των φυτοδωμάτων στο σχολείο χρησιμοποιούσαμε μόνο πόσιμο νερό

	Low-Potable	Low-RWH	Low-GWR	Low-All
Κατανάλωση (m ³)	1260.91	1222.13	1205.52	1204.46
		-3.07%	-4.39%	-4.48%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	1115.00	833.67	833.67
		0.00%	-25.23%	-25.23%
Απορροή (m ³)	608.72	569.95	608.72	445.15
		-6.37%	0.00%	-26.87%



Γράφημα 37 Μεταβολή βασικών μεγεθών ανά μοντέλο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

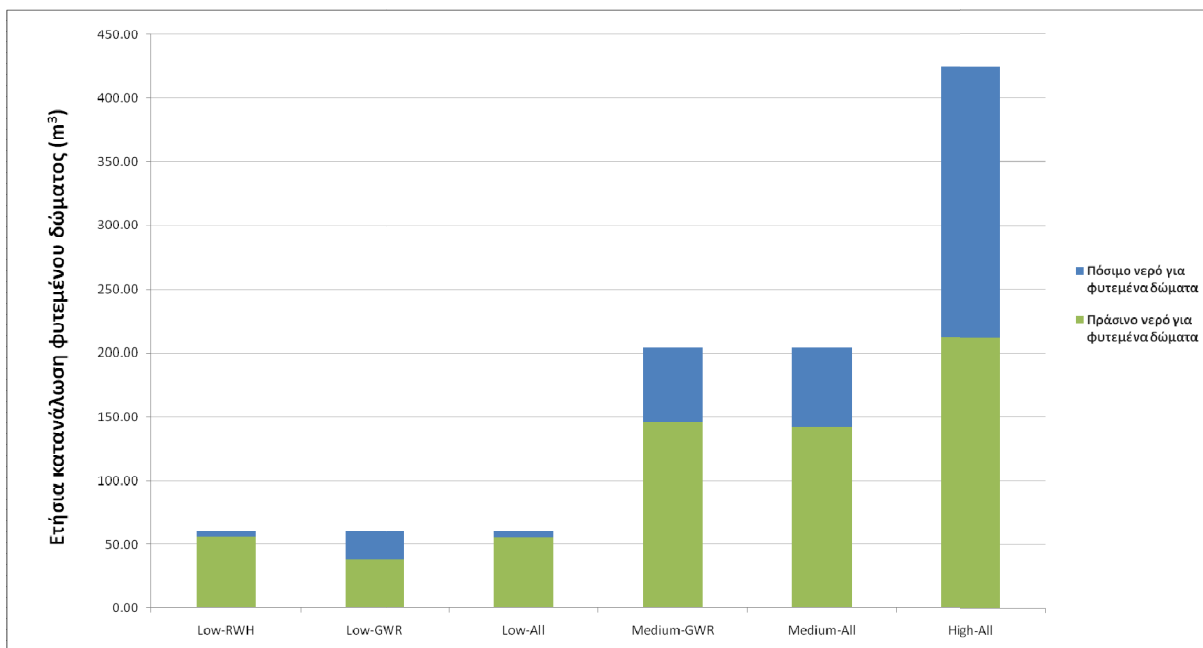
Πίνακας 33 Σύγκριση μοντέλων (Medium) με την περίπτωση όπου για όλες τις χρήσεις και την άρδευση των φυτοδωμάτων στο σχολείο χρησιμοποιούσαμε μόνο πόσιμο νερό

	Medium-Potable	Medium-GWR	Medium-All
Κατανάλωση (m ³)	1404.05	1262.10	1258.71
		-10.11%	-10.35%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	833.67	833.67
		-25.23%	-25.23%
Απορροή (m ³)	539.33	539.33	375.75
		0.00%	-30.33%

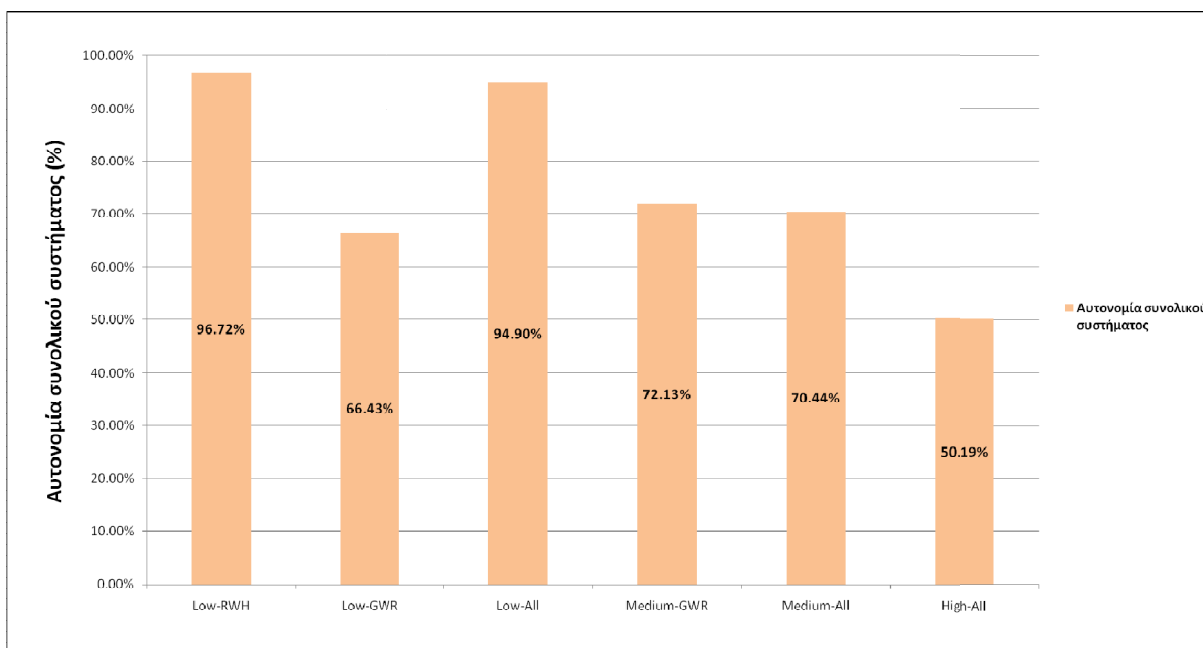
Πίνακας 34 Σύγκριση μοντέλων (High) με την περίπτωση όπου για όλες τις χρήσεις και την άρδευση των φυτοδωμάτων στο σχολείο χρησιμοποιούσαμε μόνο πόσιμο νερό

	High-Potable	High-All
Κατανάλωση (m ³)	1624.70	1412.80
		-13.04%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	833.67
		-25.23%
Απορροή (m ³)	432.36	347.79
		-19.56%

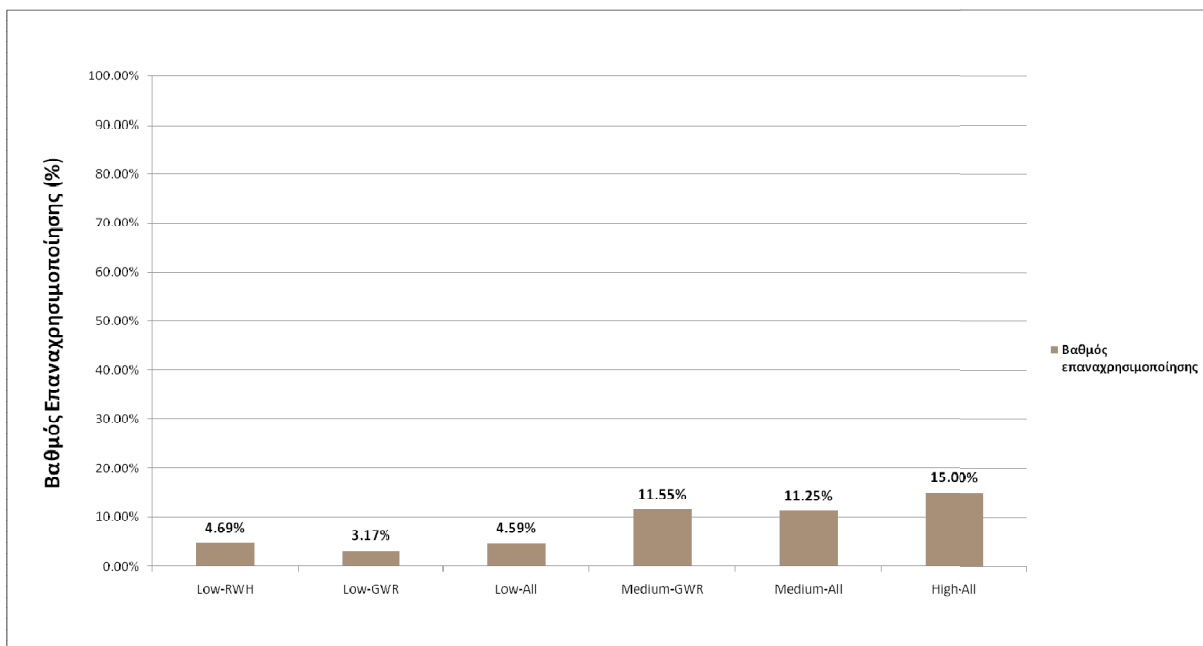
Στο Γράφημα 38 φαίνεται η μέση ετήσια κατανάλωση για τα φυτοδώματα κάθε σεναρίου, αλλά και το ποσοστό στο οποίο συμμετέχει η κάθε ροή νερού (πράσινο και πόσιμο νερό) για να ικανοποιηθεί η συγκεκριμένη κατανάλωση.



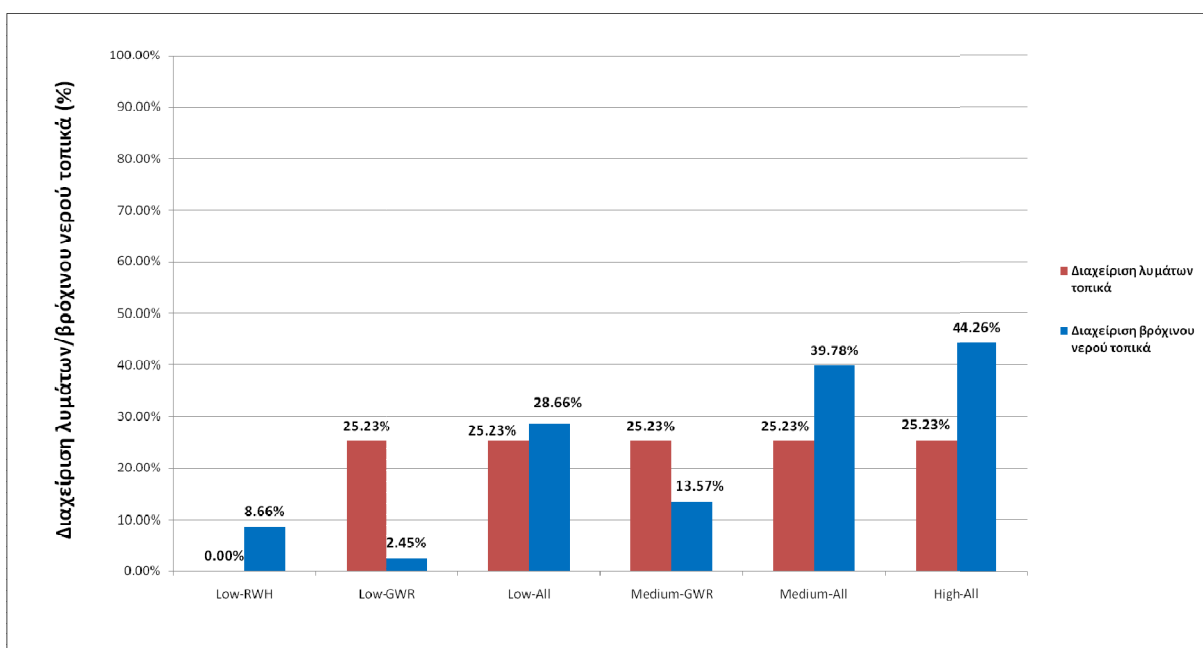
Γράφημα 38 Ετήσια κατανάλωση φυτεμένων δωματίων ανά μοντέλο



Γράφημα 39 Αυτονομία συνολικού συστήματος ανά μοντέλο

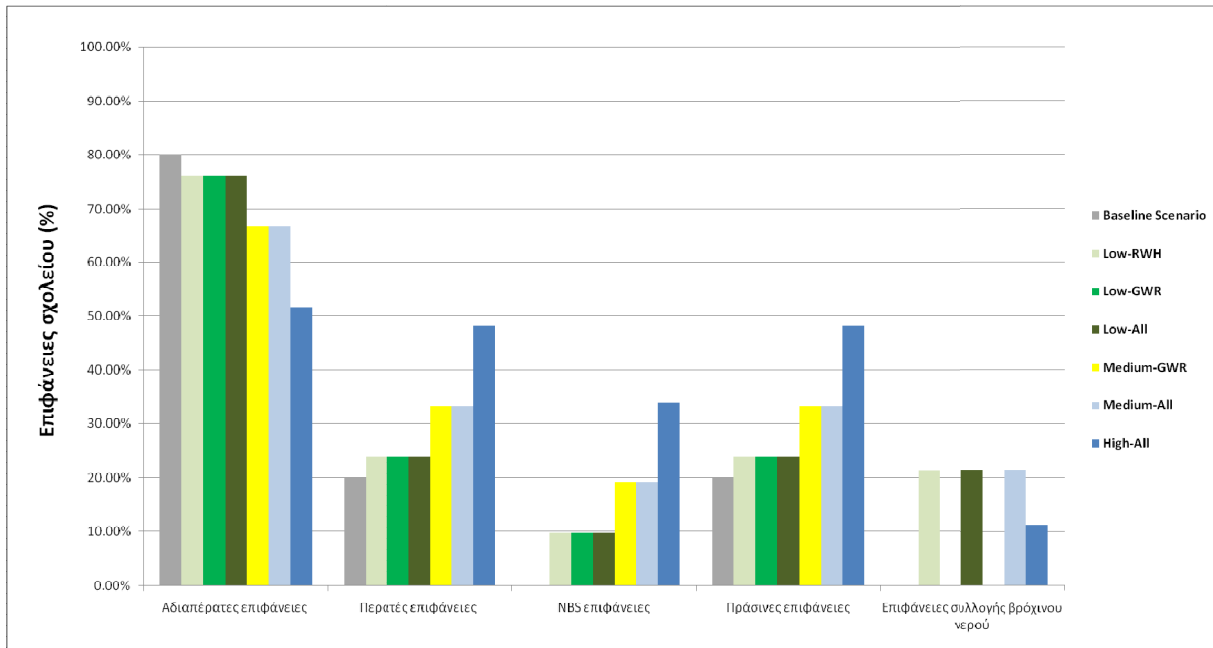


Γράφημα 40 Βαθμός επαναχρησιμοποίησης συστήματος ανά μοντέλο

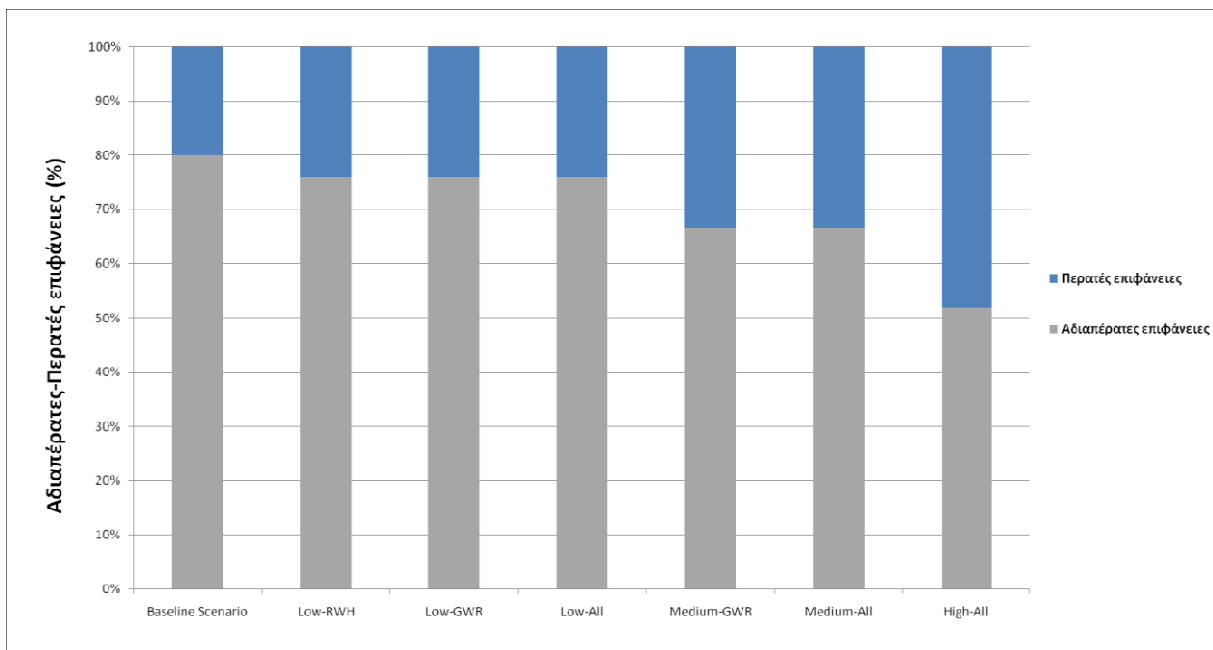


Γράφημα 41 Διαχείριση βρόχινου νερού και λυμάτων στο σχολείο ανά μοντέλο

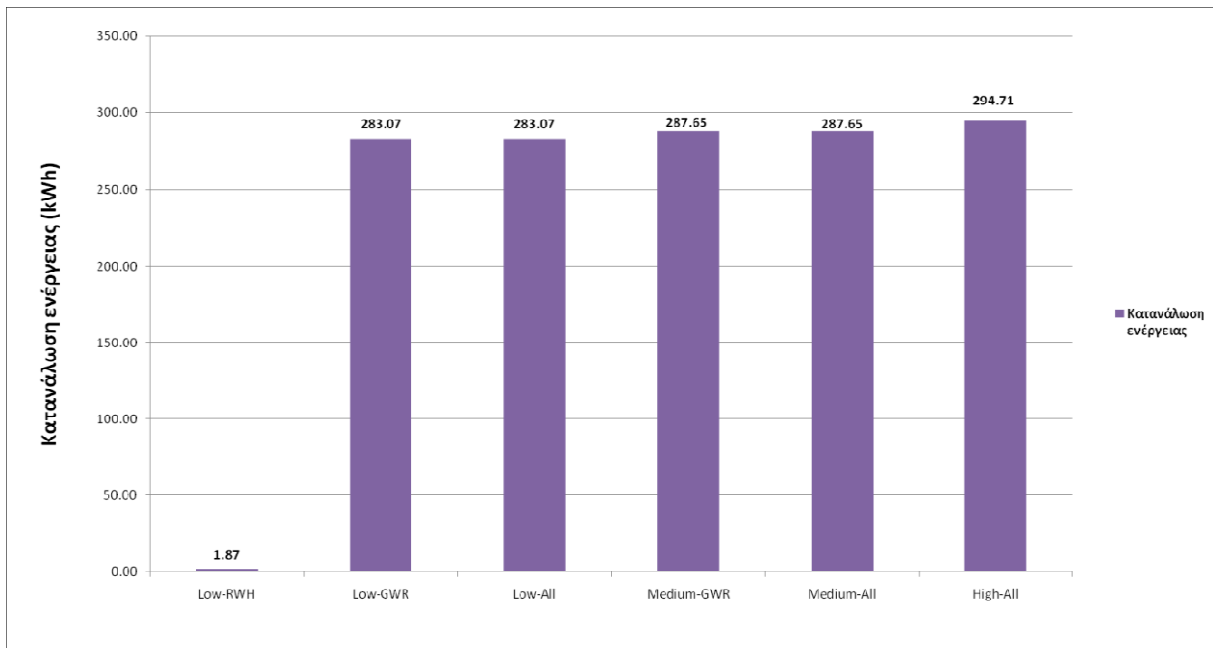
Παραπάνω, παρουσιάζονται κάποια γραφήματα σχετικά με τις επιφάνειες του σχολείου και πως αυτές μεταβάλλονται ανά σενάριο. Συγκεκριμένα, στο Γράφημα 42 αναπαρίστανται για κάθε μορφή επιφάνειας το ποσοστό που καταλαμβάνει σε κάθε σενάριο προσομοίωσης, ενώ στο Γράφημα 43 παρουσιάζεται η μεταβολή των περατών και αδιαπέρατων επιφανειών του σχολείου, που αθροιστικά δίνουν πάντα το σύνολο των επιφανειών του σχολείου. Τέλος, στο Γράφημα 44 φαίνεται και η συνολική κατανάλωση ενέργειας για τις παρεμβάσεις κάθε σεναρίου, όπως προκύπτει από το άθροισμα της κατανάλωσης ενέργειας των αντλιών και της μονάδας επεξεργασίας γκρι νερού.



Γράφημα 42 Επιμέρους επιφάνειες στο σχολείο ανά σενάριο



Γράφημα 43 Ποσοστό αδιαπέρατων και περατών επιφανειών στο σχολείο ανά σενάριο



Γράφημα 44 Κατανάλωση ενέργειας ανά σενάριο

6.3.2 Σενάρια προς εφαρμογή

Στον Πίνακα 35 βλέπουμε τα αποτελέσματα για όλα τα Πρακτικά Σενάρια NBS (NBS Scenarios) μαζί με το Σενάριο Αναφοράς (Baseline Scenario). Η μεταβολή των σημαντικών δεικτών επίδοσης, η αυτονομία του συστήματος και ο βαθμός επαναχρησιμοποίησης (μέσες ετήσιες τιμές), ανά σενάριο φαίνεται στο Γράφημα 47 και στο Γράφημα 48.

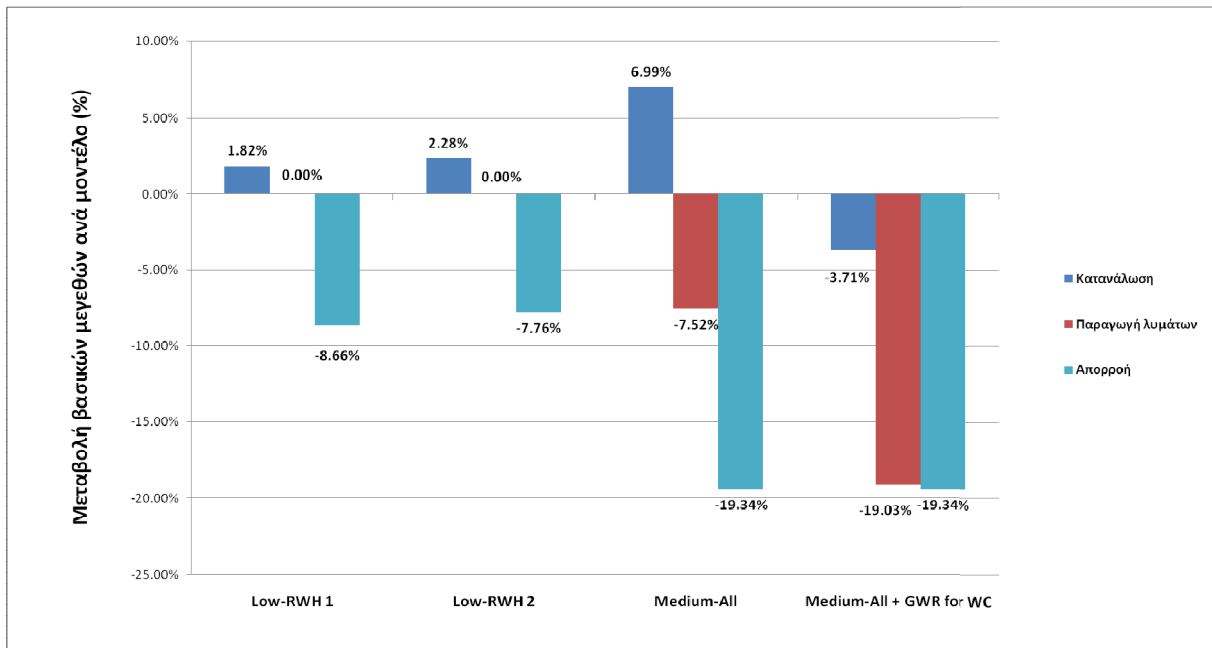
Πίνακας 35 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλων προς εφαρμογή

	Baseline Scenario	Μοντέλα προς εφαρμογή			
		Low-RWH 1	Low-RWH 2	Medium-All	Medium-All + GWR for WC
Κατανάλωση (m ³)	1200.32	1222.13	1227.74	1284.25	1155.80
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	1115.00	1115.00	1031.18	902.78
Απορροή (m ³)	623.98	569.95	575.55	503.30	503.30
Ζήτηση πολυχώρου (m ³)	0.00	58.37	58.37	58.37	58.37
Ζήτηση διαδρόμου (m ³)	0.00	0.00	0.00	16.34	16.34
Ζήτηση στεγάστρου (m ³)	0.00	0.00	0.00	126.80	126.80
Ζήτηση εισόδου (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ζήτηση κτηρίου αιθουσών (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ζήτηση από ζαρντινιέρες (m ³)	0.00	2.22	2.22	2.22	2.22
Ζήτηση φυτεμένων δωματίων μαζί με ζαρντινιέρες	0.00	60.59	60.59	203.73	203.73
Πόσιμο νερό για πολυχώρο (m ³)	0.00	19.59	25.20	-	-
Πόσιμο νερό για πολυχώρο και διάδρομο (m ³)	0.00	0.00	0.00	38.68	38.68
Πόσιμο νερό για στεγάστρο (m ³)	0.00	0.00	0.00	43.03	68.94
Πόσιμο νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	506.58
Πόσιμο νερό για ζαρντινιέρες (m ³)	0.00	2.22	2.22	2.22	2.22
Πόσιμο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	21.82	27.42	83.93	109.84
Γκρί νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	0.00	0.00	83.78	212.22
Βρόχινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	38.77	33.17	36.02	36.02
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα (m ³)	0.00	38.77	33.17	119.80	93.89
Γκρί νερό για WC μαθητών (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	154.29
Πράσινο νερό για φυτεμένα δώματα και WC	0.00	38.77	33.17	119.80	248.18
Αυτονομία πολυχώρου (%)	0.00	66.43%	56.83%	-	-
Αυτονομία πολυχώρου και διαδρόμου (%)	0.00	-	-	48.22%	48.22%
Αυτονομία στεγάστρου (%)	0.00	-	-	66.07%	45.64%
Αυτονομία συνολικού συστήματος (%)	0.00%	66.43%	56.83%	59.45%	46.59%
Βαθμός επαναχρησιμοποίησης (%)	0.00%	3.17%	2.70%	9.33%	21.47%
Υπερχείλιση κοινής δεξαμενής (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Υπερχείλιση δεξαμενής βρόχινου νερού (m ³)	0.00	120.73	51.40	48.55	48.55
Υπερχείλιση δεξαμενής γκρί νερού (m ³)	0.00	0.00	0.00	128.40	0.00
Υπερχείλιση συνολική (m ³)	0.00	120.73	51.40	176.95	48.55
Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	0.00	1.87	1.87	216.07	224.00
Διαχείριση λυμάτων τοπικά (%)	0.00%	0.00%	0.00%	7.52%	19.03%
Διαχείριση βρόχινου νερού τοπικά (%)	0.00%	8.66%	7.76%	19.34%	19.34%
Βροχόπτωση σχολείου (m ³)	875.81	875.81	875.81	875.81	875.81
Αδιαπέρατες επιφάνειες (m ²)	2542.26	2419.26	2419.26	2115.26	2115.26
Αδιαπέρατες επιφάνειες (%)	80.01%	76.14%	76.14%	66.57%	66.57%
Περατές επιφάνειες (m ²)	635.00	758.00	758.00	1062.00	1062.00
Περατές επιφάνειες (%)	19.99%	23.86%	23.86%	33.43%	33.43%
NBS επιφάνειες (m ²)	0.00	307.00	307.00	611.00	611.00
NBS επιφάνειες (%)	0.00%	9.66%	9.66%	19.23%	19.23%
Πράσινες επιφάνειες (m ²)	635.00	758.00	758.00	1062.00	1062.00
Πράσινες επιφάνειες (%)	19.99%	23.86%	23.86%	33.43%	33.43%
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (m ²)	0.00	678.30	327.10	327.10	327.10
Επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (%)	0.00%	21.35%	10.30%	10.30%	10.30%

Στον Πίνακα 36, ομοίως με παραπάνω, παρουσιάζεται με μορφή ποσοστών η εξοικονόμηση που πετυχαίνουμε στην συνολική κατανάλωση νερού από το δίκτυο, κάτι που φαίνεται και στο Γράφημα 45. Ομοίως στον Πίνακα 37 και Πίνακα 38 φαίνεται το ποσοστό εξοικονόμησης για τις ίδιες ροές για κάθε σενάριο αλλά αυτήν την φορά σε σύγκριση με το μοντέλο για το οποίο η άρδευση των φυτοδωματίων γίνεται μόνο με την χρήση πόσιμου νερού, χωρίς καμία ανακύκλωση νερού.

Πίνακας 36 Σύγκριση βασικών μεγεθών ανά σενάριο σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση στο σχολείο

	Baseline Scenario	Πρακτικά σενάρια			
		Low-RWH 1	Low-RWH 2	Medium-All	Medium-All + GWR for WC
Κατανάλωση (m ³)	1200.32	1222.13	1227.74	1284.25	1155.80
		1.82%	2.28%	6.99%	-3.71%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	1115.00	1115.00	1031.18	902.78
		0.00%	0.00%	-7.52%	-19.03%
Απορροή (m ³)	623.98	569.95	575.55	503.30	503.30
		-8.66%	-7.76%	-19.34%	-19.34%



Γράφημα 45 Μεταβολή βασικών μεγεθών ανά μοντέλο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς

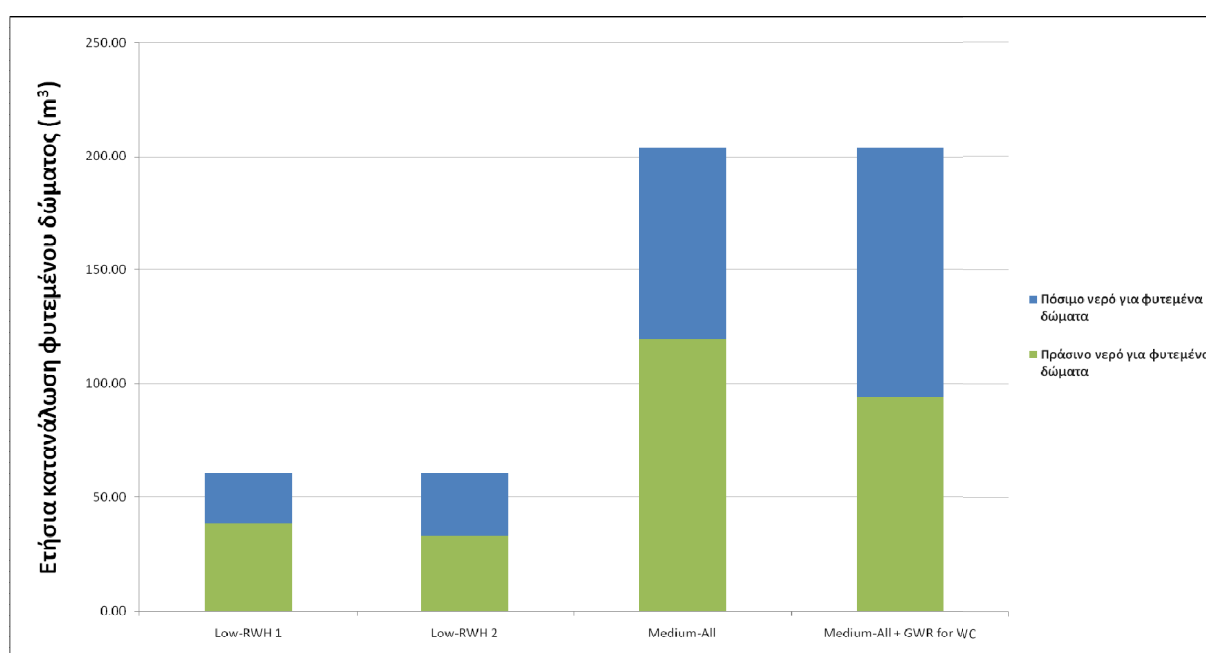
Πίνακας 37 Σύγκριση μοντέλων (Low) με την περίπτωση όπου για όλες τις χρήσεις και την άρδευση των φυτοδωμάτων στο σχολείο χρησιμοποιούσαμε μόνο πόσιμο νερό

	Low-Potable	Low-RWH 1	Low-RWH 2
Κατανάλωση (m ³)	1260.91	1222.13	1227.74
		-3.07%	-2.63%
Παραγωγή λυμάτων (m ³)	1115.00	1115.00	1115.00
		0.00%	0.00%
Απορροή (m ³)	608.72	569.95	575.55
		-6.37%	-5.45%

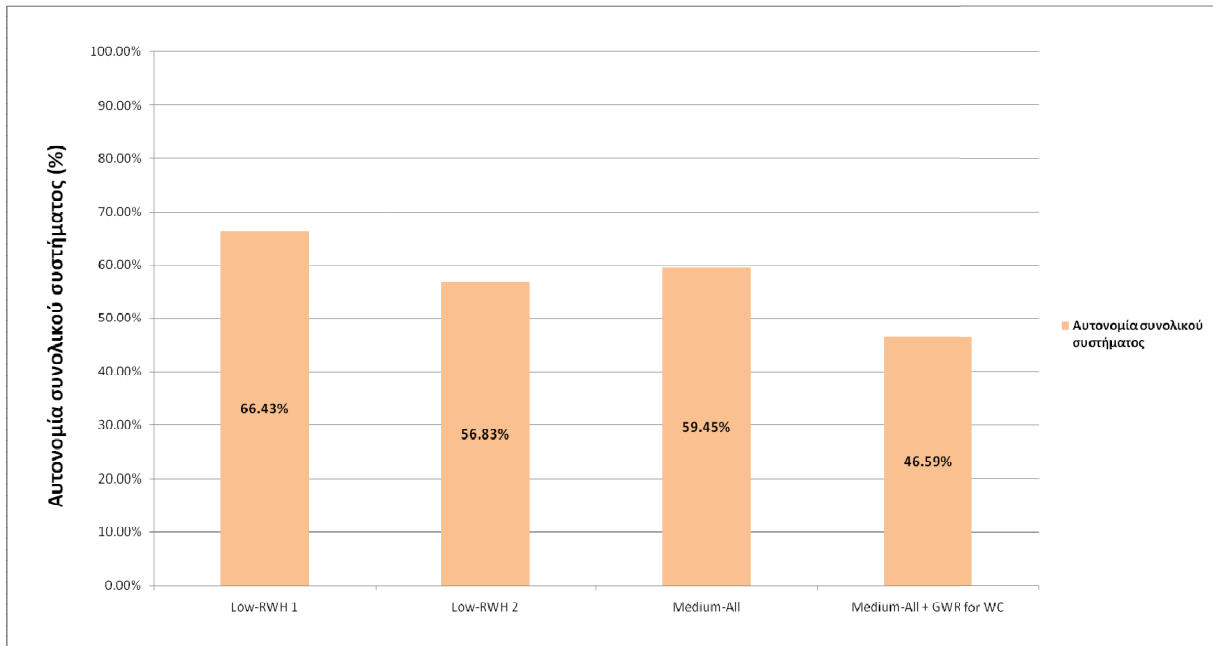
Πίνακας 38 Σύγκριση μοντέλων (Medium) με την περίπτωση όπου για όλες τις χρήσεις και την άρδευση των φυτοδωμάτων στο σχολείο χρησιμοποιούσαμε μόνο πόσιμο νερό

	Medium-Potable	Medium-All	Medium-All + GWR for WC
Κατανάλωση (m³)	1404.05	1284.25	1155.80
		-8.53%	-17.68%
Παραγωγή λυμάτων (m³)	1115.00	1031.18	902.78
		-7.52%	-19.03%
Απορροή (m³)	539.33	503.30	503.30
		-6.68%	-6.68%

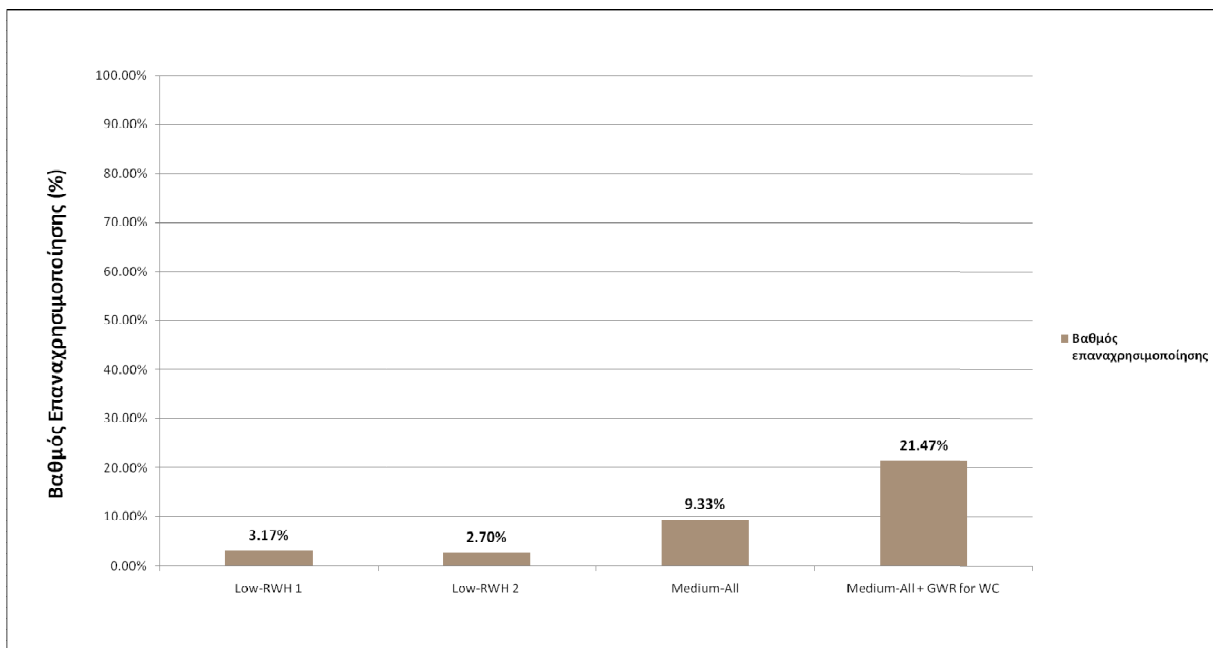
Στο Γράφημα 46 φαίνεται η μέση ετήσια κατανάλωση για τα φυτοδώματα κάθε σεναρίου, αλλά και το ποσοστό στο οποίο συμμετέχει η κάθε ροή νερού (πράσινο και πόσιμο νερό) για να ικανοποιηθεί η συγκεκριμένη κατανάλωση.



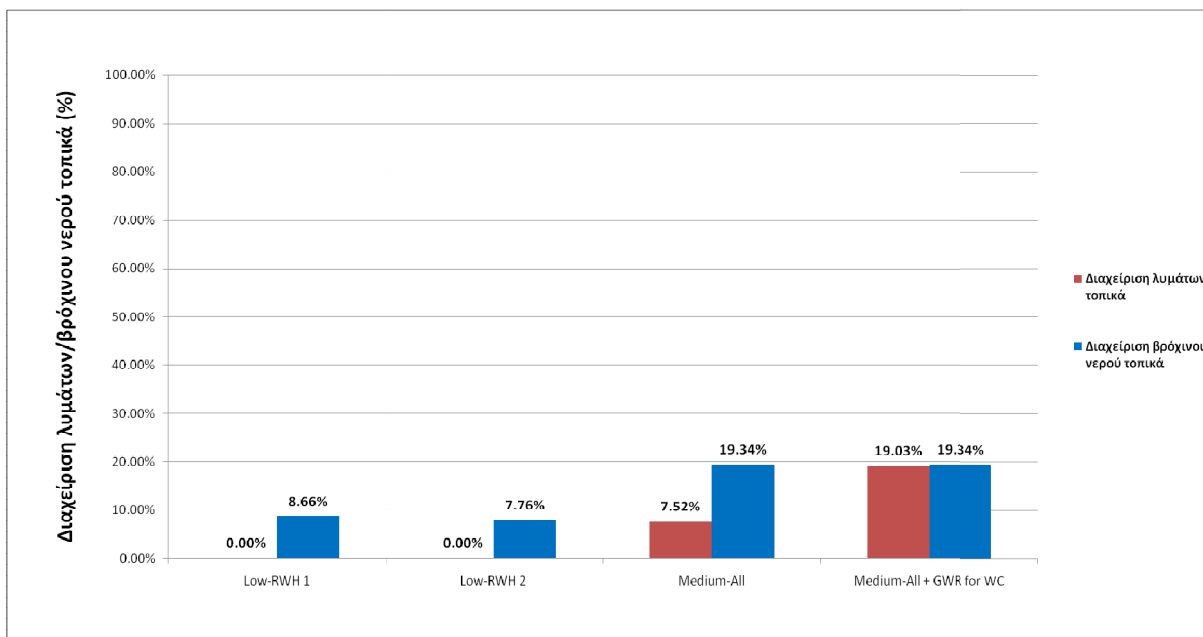
Γράφημα 46 Ετήσια κατανάλωση φυτεμένων δωματίων ανά μοντέλο



Γράφημα 47 Αυτονομία συνολικού συστήματος ανά μοντέλο

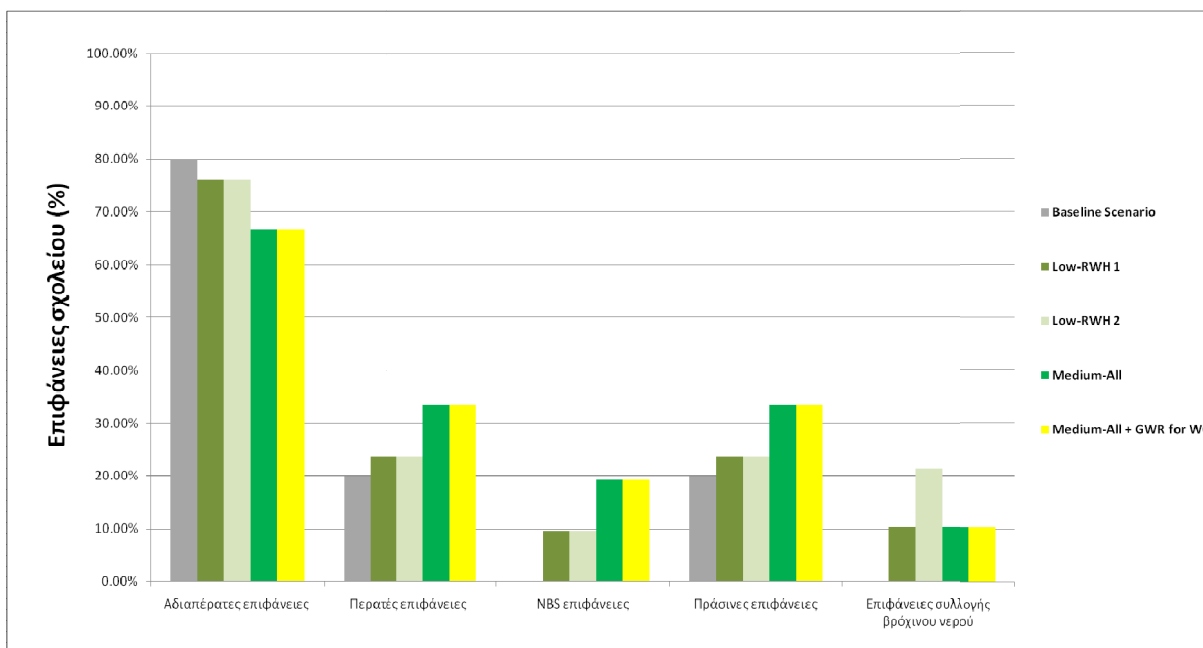


Γράφημα 48 Βαθμός επαναχρησιμοποίησης συστήματος ανά μοντέλο

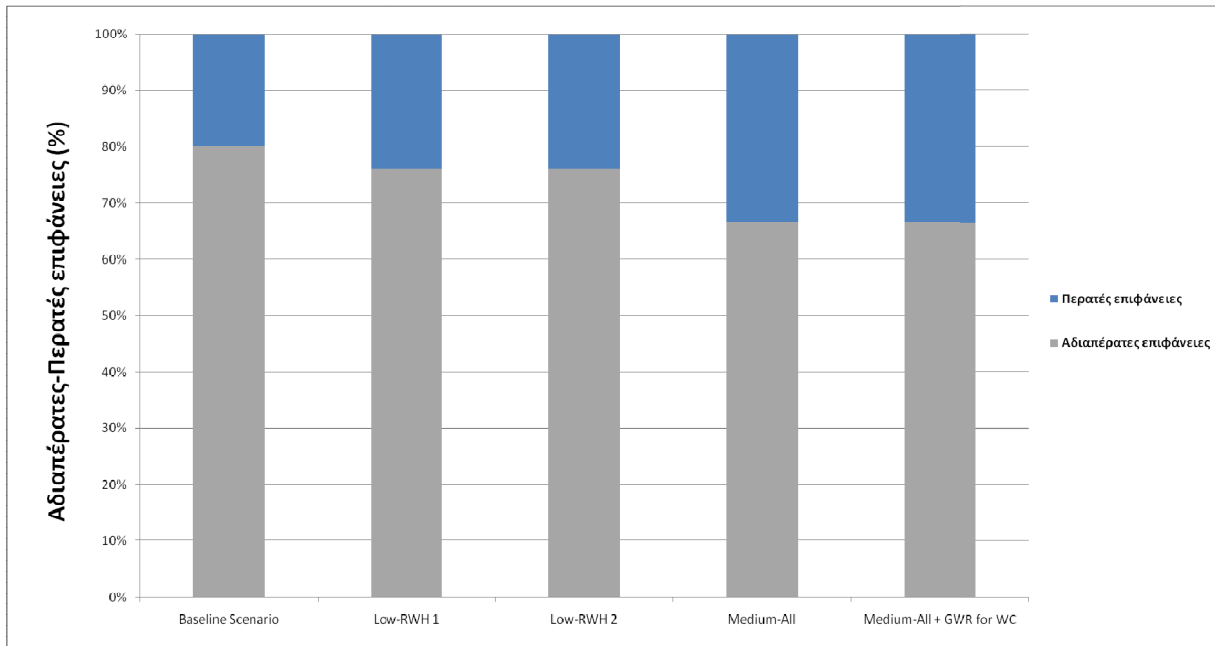


Γράφημα 49 Διαχείριση βρόχινου νερού και λυμάτων στο σχολείο ανά μοντέλο

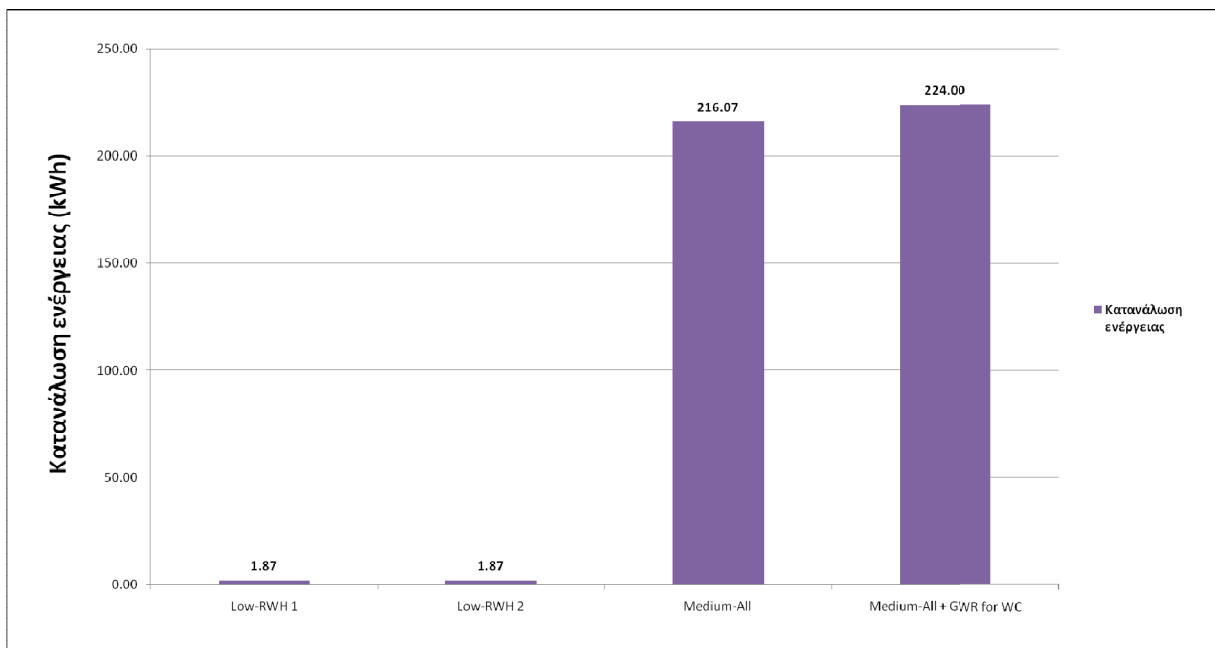
Παρακάτω, παρουσιάζονται κάποια γραφήματα σχετικά με τις επιφάνειες του σχολείου και πως αυτές μεταβάλλονται ανά σενάριο, όμοια με την περίπτωση των θεωρητικών σεναρίων.



Γράφημα 50 Επιμέρους επιφάνειες στο σχολείο ανά σενάριο



Γράφημα 51 Ποσοστό αδιαπέρατων και περατών επιφανειών στο σχολείο ανά σενάριο



Γράφημα 52 Κατανάλωση ενέργειας ανά σενάριο

7. Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

7.1 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της μελέτης της λειτουργίας των μοντέλων στα Ράλλεια Πειραματικά σχολεία Πειραιά εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα,

Για το **Baseline Scenario**:

- Από το Γράφημα 15 της μηνιαίας κατανάλωσης από το δίκτυο για όλες τις χρήσεις του σχολείου, βλέπουμε ότι η κατανάλωση παρουσιάζει μια αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ βλέπουμε σημαντική πτώση τις περιόδους όπου το σχολείο παραμένει κλειστό, όπως τον Απρίλιο λόγω των διακοπών του Πάσχα, τον Αύγουστο λόγω των καλοκαιρινών διακοπών, των Δεκέμβριο λόγω των Χριστουγέννων αλλά και τον Σεπτέμβριο όπου οι χρήστες είναι λιγότεροι γιατί οι μαθητές πηγαίνουν στα σχολεία περίπου στα μέσα του μήνα.
- Παρατηρούμε στο Γράφημα 16 πως το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης στο σχολείο (πάνω από το μισό) γίνεται από τα καζανάκια στις τουαλέτες των μαθητών, και ακολουθούν τα καζανάκια στις τουαλέτες των καθηγητών και οι νεροχύτες στις τουαλέτες των μαθητών, κάτι που μας δείχνει ότι υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης σημαντικής ποσότητας γκρι νερού.

Για τα **NBS Scenarios** γενικά:

- Ως προς τα φυτεμένα δώματα, ανάμεσα στα 3 πιθανά σενάρια φύτευσης προτείνεται ως πιο λειτουργικό και πιθανόν αποδοτικότερο το πρώτο, δηλαδή να γίνει φύτευση μόνο της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων. Με την επιλογή αυτή, εξασφαλίζεται μια οικονομικότερη επιλογή, ευκολότερη κατασκευαστικά και ταυτόχρονα μέσω της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων, θα επιχειρηθεί να αποκτήσουν πρόσβαση οι μαθητές στο φυτοδώμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες χρήσεις εκπαιδευτικού και ψυχαγωγικού χαρακτήρα.
- Σε σχέση με την τροφοδοσία του νερού στα φυτοδώματα, προτείνεται ως καλύτερη επιλογή ένας συνδυασμός χρήσης βρόχινου και επεξεργασμένου γκρι νερού (πράσινο νερό) για την άρδευση των εκάστοτε δωματίων. Ο συνδυασμός των διαθέσιμων τοπικών φυσικών πόρων με την τεχνογνωσία είναι η καλύτερη λύση για την σωστή κάλυψη όλων των αναγκών του σχολείου και αναδεικνύουν την βιωσιμότητα των παρεμβάσεων.
- Συγκριτικά, σαν ιδανικότερο μοντέλο προτείνεται το **Medium-All + GWR for WC** γιατί εφαρμόζει αρκετές νέες τεχνολογίες επεξεργασίας και διαχείρισης νερού ενώ έχει και ένα σημαντικό αριθμό φυτεύσεων, αυξάνοντας έτσι τις πράσινες επιφάνειες του σχολείου και των υπηρεσιών οικοσυστήματος (ecosystem services). Επίσης, αυτό το μοντέλο παρουσιάζει τους υψηλότερους δείκτες επίδοσης στην αυτονομία, στην επαναχρησιμοποίηση νερού και στην εκμετάλλευση λυμάτων και βρόχινου νερού τοπικά, ενώ παράλληλα οι παρεμβάσεις που θα γίνουν όχι μόνο δεν θα επιβαρύνουν το κεντρικό δίκτυο ύδρευσης με πρόσθετη υδατική κατανάλωση αλλά θα μειώσουν και την υπάρχουσα, λόγω της επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού στα

καζανάκια. Συνεπώς φαίνεται πως η συγκεκριμένη λύση είναι η πιο περιβαλλοντικά βιώσιμη παρέμβαση.

- Σε όλα τα σενάρια παρατηρείται αυξημένη κατανάλωση του φυτεμένου δώματος κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως είναι αναμενόμενο. Ταυτόχρονα, τους χειμερινούς μήνες, όπου η ζήτηση είναι μικρότερη και η παραγωγή βρόχινου νερού είναι μεγάλη, η ζήτηση ικανοποιείται κυρίως από πράσινο νερό. Τους καλοκαιρινούς μήνες αυτό αντιστρέφεται και η κατανάλωση πόσιμου νερού από το δίκτυο αυξάνεται σημαντικά.
- Στην ίδια λογική, η συνολική υπερχείλιση των δεξαμενών αυξάνεται τους χειμερινούς μήνες που υπάρχει περίσσεια για εκμετάλλευση, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες η υπερχείλιση είναι μικρή έως και καθόλου.
- Όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 5, από τις δοκιμές στο σενάριο **Low-RWH 2** καταλήξαμε πως η βέλτιστη επιλογή για την χωρητικότητα είναι τα 8 m³ καθώς επιτυγχάνουμε ένα ικανοποιητικό βαθμό αυτονομίας του συστήματος ενώ ταυτόχρονα κάνουμε μια πιο οικονομική επιλογή. Ωστόσο, η προσομοίωση όλων των μοντέλων έγινε με δεξαμενή χωρητικότητας 10 m³ και όχι 8 m³, γιατί θέλαμε να έχουμε ίδια χωρητικότητα για την προσομοίωση. Επίσης στα θεωρητικά μοντέλα υπάρχει μια κοινή δεξαμενή για το γκρι και το βρόχινο νερό, επομένως θα έπρεπε να είναι λίγο μεγαλύτερη για να δέχεται και τις 2 ροές και όχι μόνο το βρόχινο νερό.

Για τα **NBS Scenarios (Θεωρητικά)**:

- Στον Πίνακα 30 στα θεωρητικά σενάρια **Medium-All, Medium-GWR** παρατηρούμε πως η επίδραση της ανακύκλωσης γκρι νερού είναι καθοριστική για την αυτονομία του συστήματος σε σχέση με την συλλογή και χρήση βρόχινου νερού, ενώ η πρόσθετη αυτονομία που επιτυγχάνεται με την προσθήκη του βρόχινου νερού είναι μικρή και θα πρέπει να εξετάζεται αν συμφέρει οικονομικά σε κάποια πρακτική εφαρμογή.
- Στο μοντέλο **Low-All**, παρατηρείται ότι το ανακυκλωμένο νερό επαρκεί για να ικανοποιήσει όλες τις ανάγκες, αλλά η αυτονομία δεν είναι στο 100% για την ετήσια κατανάλωση των φυτεμένων δωμάτων, όπου βλέπουμε την μικρή συνεισφορά του πόσιμου νερού στην κατανάλωση του φυτοδώματος. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν είναι εφικτό να ποτιστούν οι ζαρντινιέρες με ανακυκλωμένο νερό, καθώς υπάρχει νομοθετικός περιορισμός για αποκλειστική χρήση πόσιμου αρδευτικού νερού, επειδή θα είναι σε χώρο επισκέψιμο από τους μαθητές του σχολείου και πιθανόν να έρθουν σε επαφή μαζί τους.
- Παρατηρούμε ότι στον Πίνακα 31 στα σενάρια **Low-RWH, Low-GWR, Low-All** η αύξηση στην συνολική κατανάλωση είναι πολύ μικρή (μικρότερη από 2%), αλλά ταυτόχρονα τα λύματα που παράγονται από το σχολείο είναι μειωμένα περίπου κατά ¼ από τα λύματα που παράγονται στην σημερινή κατάσταση, ενώ η απορροή στο μοντέλο **Low-All** απομειωμένη σχεδόν κατά 30%.
- Από τα αποτελέσματα των **Low** σεναρίων, βλέπουμε πως στο **Low-GWR** η κατανάλωση είναι αρκετά κοντά με την κατανάλωση του **Low-All**, ενώ στο μοντέλο **Low-RWH** η κατανάλωση είναι αυξημένη. Άρα, η συνεισφορά της επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού είναι μεγάλη σε σχέση με την αυτή της συλλογής και αξιοποίησης του βρόχινου νερού στην συνολική κατανάλωση πόσιμου νερού του συστήματος.

- Επίσης, σημαντικό όφελος είναι και η απομείωση της απορροής στο μοντέλο **High-All**, όπου στον Πίνακα 31 σχεδόν η μισή (-44,26%) πηγαίνει στο δίκτυο ομβρίων σε σχέση με το **Baseline Scenario**.
- Στο Γράφημα 42 παρατηρούμε ότι στο μοντέλο **High-All** σχεδόν οι μισές επιφάνειες του σχολείου είναι πράσινες (και περατές).

Για τα **NBS Scenarios (Προς εφαρμογή)**:

- Στο πρακτικό σενάριο **Medium-All + GWR for WC** στον Πίνακα 36, βλέπουμε ότι η συνολική κατανάλωση από το δίκτυο πόσιμου νερού είναι μικρότερη από την κατανάλωση του **Baseline Scenario** (-3,71%), εξ' αιτίας της ανακύκλωσης του γκρι νερού για χρήση στα καζανάκια των τουαλετών των μαθητών. Αυτό είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό συμπέρασμα καθώς φαίνεται πως σε αυτό το μοντέλο με την ανακύκλωση γκρι και βρόχινου νερού, όχι μόνο επιτυγχάνουμε την άρδευση των φυτοδωμάτων που θα κατασκευαστούν αλλά, μέσω της ανακύκλωσης γκρι νερού στα καζανάκια της τουαλέτας των μαθητών, μειώνεται και η ζήτηση για πόσιμο νερό στα καζανάκια και, εφόσον όπως φαίνεται και από το Γράφημα 16 για το **Baseline Scenario** η μεγαλύτερη χρήση στο σχολείο γίνεται από τα καζανάκια, τελικά επιτυγχάνεται και συνολική μείωση της αρχικής ζήτησης πόσιμου νερού για το σχολείο από το δίκτυο ύδρευσης.
- Στο σενάριο **Medium-All + GWR for WC**, στο Γράφημα 34 παρατηρούμε ότι η συνολική υπερχειλίση και των δύο δεξαμενών είναι η μικρότερη από όλα τα σενάρια, ενώ η υπερχειλίση της δεξαμενής Greywater είναι μηδέν. Αυτό μας δείχνει πως σε αυτό το μοντέλο εκμεταλλευόμαστε πλήρως το γκρι νερό που παράγεται.
- Η ανακύκλωση γκρι νερού στο σενάριο **Medium-All + GWR for WC**, στο Γράφημα 39 οδηγεί σε περαιτέρω μείωση των συνολικών λυμάτων που παράγει το σχολείο σε σχέση με το σενάριο **Medium-All**. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός πως η εκμετάλλευση γκρι νερού και από τα καζανάκια της τουαλέτας των μαθητών μειώνει το απόθεμα της δεξαμενής γκρι νερού, κάτι που σημαίνει πως μειώνονται και οι υπερχειλίσεις της δεξαμενής και τελικά και τα λύματα που παράγονται από το σχολείο, εφόσον οι υπερχειλίσεις καταλήγουν εκεί.
- Παρατηρούμε ότι από το σενάριο **Medium-All** στο **Medium-All + GWR for WC**, στον Πίνακα 35 υπάρχει μείωση της αυτονομίας στην άρδευση των φυτοδωμάτων. Αυτό οφείλεται στην ανακύκλωση γκρι νερού στα καζανάκια της τουαλέτας των μαθητών. Στο μοντέλο **Medium-All**, το απόθεμα που έμενε στην δεξαμενή γκρι νερού χρησιμοποιούνταν την επόμενη μέρα για την άρδευση του στεγάστρου. Στο μοντέλο **Medium-All + GWR for WC**, επειδή η δεξαμενή γκρι νερού είναι κοινή για το φυτοδώμα του στεγάστρου και τα καζανάκια, το απόθεμα που υπήρχε προηγουμένως τώρα θα χρησιμοποιείται για να γεμίζει τα καζανάκια. Έτσι τις ημέρες που το σχολείο δεν θα λειτουργεί και δεν θα γίνεται παραγωγή γκρι νερού, όπως τα σαββατοκύριακα, πλέον δεν θα υπάρχει το απόθεμα γκρι νερού στην δεξαμενή για άρδευση. Επομένως το φυτοδώμα του στεγάστρου για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του θα απαιτήσει περισσότερο πόσιμο νερό από το δίκτυο, κάτι που θα μειώσει την αυτονομία του συστήματος.
- Σημαντικό είναι ότι στο σενάριο **Medium-All + GWR for WC**, στον Πίνακα 35, το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης είναι 21.13%. Αυτό μας δείχνει πως σχεδόν το ¼ του νερού που χρησιμοποιείται στο σχολείο είναι ανακυκλωμένο.

- Επίσης στον Πίνακα 38 παρατηρείται ότι στο σενάριο **Medium-All + GWR for WC** υπάρχει μεγάλη εξοικονόμηση πόσιμου νερού αλλά και λυμάτων που καταλήγουν στην αποχέτευση σε σύγκριση με το **Medium-Potable**. Αυτό δείχνει και την σημασία των τεχνολογιών επαναχρησιμοποίησης νερού.
- Η αύξηση του ποσοστού βρόχινου νερού στον Πίνακα 35 που εκμεταλλευόμαστε μέσα στο σχολείο, από το μοντέλο **Low-RWH 1** στο **Medium-All**, σχετίζεται με το ότι έχουμε ένα επιπλέον φυτεμένο δώμα, αυτό που είναι ενδιάμεσα και ενώνει τα δύο κτήρια αιθουσών. Αυτό οδηγεί σε περαιτέρω εκμετάλλευση βρόχινου νερού, επομένως σε μικρότερη υπερχειλίση της δεξαμενής βρόχινου νερού, σε μεγαλύτερη εκμετάλλευση της βροχόπτωσης, και σε μικρότερη συνολική απορροή που φεύγει από το σχολείο.

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μέσα από την παρούσα διπλωματική εργασία, επιδιώχθηκε να διερευνηθεί και να μελετηθεί η δημιουργία καινούργιων χώρων πρασίνου και συγκεκριμένα φυτοδωμάτων (NbS) εφαρμόζοντας ταυτόχρονα μια ορθολογική τοπική διαχείριση υδατικών πόρων στο επίπεδο του σχολείου. Οι καινούργιοι χώροι πρασίνου υποστηρίζονται και με την χρήση εναλλακτικών πηγών και τεχνολογιών νερού, όπως συλλογής βρόχινου νερού και επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού που παράγεται από τους χρήστες του προκειμένου να αποτελεί μια περιβαλλοντικά βιώσιμη λύση. Έτσι, η μελέτη επικεντρώθηκε σε ζητήματα που αφορούν την ποσοτική διαχείριση των διαφόρων ροών, στην αύξηση των χώρων πρασίνου και στο ενεργειακό αποτύπωμα των παρεμβάσεων. Προχωρώντας την μελέτη ένα βήμα παραπέρα, θα μπορούσαν να μελετηθούν ζητήματα όπως:

- Οικονομική ανάλυση της κάθε τεχνολογίας αλλά και του συνολικού έργου για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση.
- Εκτενέστερη μελέτη για την βέλτιστη χωρητικότητα της δεξαμενής γκρι νερού.
- Σημαντικό θα ήταν να γίνει και μια ανάλυση για την ποιότητα του γκρι νερού και να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά που την καθορίζουν στο συγκεκριμένο έργο. Με βάση αυτό, θα μπορούσε να γίνει ένας σχεδιασμός και να προταθεί ένα εμπορικό σύστημα επεξεργασίας αυτής της ροής που θα επιτυγχάνει τον βαθμό απολύμανσης που επιθυμούμε για αρδευτική χρήση στο φυτοδώμα.
- Ταυτόχρονα, θα μπορούσε να γίνει και μία διερεύνηση για την χρήση μονάδας επεξεργασίας βρόχινου νερού και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του.
- Κάτι που δεν ερευνήθηκε, είναι η δυνατότητα χρήσης ανακτημένου νερού μέσω επεξεργασίας τοπικά των λυμάτων που παράγονται στο σχολείο, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για άρδευση και να επιτευχθούν ακόμη μεγαλύτεροι βαθμοί αυτονομίας.
- Μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής αλλά και της βελτίωσης που μπορεί να επιφέρουν οι παρεμβάσεις των πράσινων στεγών σε αυτή και στο μικροκλίμα.
- Ένα ζήτημα που δεν εξετάστηκε εκτενώς είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα των παρεμβάσεων και η επίδραση στην μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

- Τέλος, κάτι που θα μπορούσε να εξεταστεί σε επόμενο στάδιο θα ήταν η επίπτωση προχωρημένων συστημάτων διαχείρισης ομβρίων, αλλά μεγαλύτερης κλίμακας, σε πλημμυρικά φαινόμενα πόλεων.

8. Βιβλιογραφικές Αναφορές

ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ Α., ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΣ, ΒΙΒΛΙΟ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 401, 2015.

ΔΑΣΚΑΛΑΚΗΣ Μ., ΕΝΑΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 255, 2011.

ΛΙΑΝΤΡΑΚΗ ΜΕΛΑΝΘΙΑ, ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ Η ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, 131, 2019.

ΜΠΑΛΤΑΣ Ε., ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΜΥCOURSES, 2018.

ΠΑΠΑΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Ε., ΟΔΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥΚΥΚΛΟΥΤΟΥ ΝΕΡΟΥ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 105, 2012.

ΡΑΛΛΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΕΙΑ ΠΕΙΡΑΙΑ (www.1dim-peir-peiraiia.att.sch.gr).

ΣΧΟΡΕΤΣΑΝΙΤΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ-ΣΤΥΛΙΑΝΗ, ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΜΙΚΡΟΡΥΠΑΝΤΩΝ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 168, 2017.

ΤΟΠΑΛΟΓΛΟΥ Α., ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΠΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 172, 2021.

ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΕΙΡΑΙΩΣ, ΟΔΗΓΟΣ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ, 2008.

ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ Π.Α., ΝΤΟΥΛΙΑΣ Ν., ΝΥΔΡΙΩΤΗ Ε., ΚΟΤΟΠΟΥΛΗΣ Γ., ΑΜΟΥΝΤΖΙΑΣ Ι., ΚΟΚΚΙΝΟΥ Η., ΚΑΨΑΛΗ Θ. ΚΑΙ ΒΑΡΕΛΑ Δ., ΕΚΤΑΤΙΚΑ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΑ: ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΣΕ ΞΗΡΟΘΕΡΜΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΑ, 25ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ Ε.Ε.Ε.Ο.

ΑΒΕΔΙΝ S. B., ΡΑΚΙΒ Ζ. Β., GENERATION AND QUALITY ANALYSIS OF GREYWATER AT DHAKA CITY, ARTICLE, ENVIRONMENTAL RESEARCH, ENGINEERING AND MANAGEMENT, 13, 2013.

ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D. AND SMITH M., CROP EVAPOTRANSPIRATION – GUIDELINES FOR COMPUTING CROP WATER REQUIREMENTS, FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER No. 56, ARTICLE, ROME, ITALY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UN, 1998.

ALPERT P., S.O. KRICHAK, H. SHAFIR, D. HAIM, I. OSETINSKY , CLIMATIC TRENDS TO EXTREMES EMPLOYING REGIONAL MODELING AND STATISTICAL INTERPRETATION OVER THE E.MEDITERRANEAN, ARTICLE, GLOBAL AND PLANETARY CHANGE, 63 163–170, 2008.

ANDREADAKIS A., GAVALAKI E., MAMAI D., TZIMAS A., WASTEWATER REUSE CRITERIA IN GREECE, SELECTED FROM PAPERS PRESENTED AT THE 7TH CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 3 -6 SEPTEMBER 2001, ERMOUPOΛIS, SYROS ISLAND, GREECE, 6, 2001.

AVEN T., RENN O., ON RISK DEFINED AS AN EVENT WHERE THE OUTCOME IS UNCERTAIN, ARTICLE, JOURNAL RISK RESEARCH, 11, 2009.

BARLOW, D., BURRILL G. AND NOLFI J., RESEARCH REPORT ON DEVELOPING A COMMUNITY LEVEL NATURAL RESOURCE INVENTORY SYSTEM: CENTER FOR STUDIES IN FOOD SELF-SUFFICIENCY, ARTICLE, 1977.

BESSON M., BERGER S., TIRUTA-BARNA L., PAUL E., SPERANDIO M., ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF URINE, BLACK AND GREY WATER SEPARATION FOR RESOURCE RECOVERY IN A NEW DISTRICT COMPARED TO CENTRALIZED WASTEWATER RESOURCES RECOVERY PLANT, ARTICLE, JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 14, 2021.

CARTER T. AND JACKSON C.R., VEGETATED ROOFS FOR STORMWATER MANAGEMENT AT MULTIPLE SPATIAL SCALES, ARTICLE, LANDSCAPE AND URBAN PLANNING, 84-94, 2007.

CHOW, M.F.; BAKAR, M.F.A., WONG, J.K., LING, L., EVAPOTRANSPIRATION MEASUREMENT AND ESTIMATION OF CROP COEFFICIENT FOR NATIVE PLANT SPECIES OF GREEN ROOF IN THE TROPICS, ARTICLE, WATER, 13, 2021.

CIRIA, SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS – DESIGN MANUAL FOR SCOTLAND AND NORTHERN IRELAND, DUNDEE, SCOTLAND: CIRIA REPORT NO. C521, 2000.

CIRIA, SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS - BEST PRACTICE MANUAL FOR ENGLAND, SCOTLAND, WALES AND NORTHERN IRELAND, LONDON, UNITED KINGDOM: CIRIA REPORT NO. CR086A, 2001.

CIRIA, THE SUDS MANUAL, 2007.

CIRKEL D.G., EVAPORATION FROM (BLUE-) GREEN ROOFS: ASSESSING THE BENEFITS OF A STORAGE AND CAPILLARY IRRIGATION SYSTEM BASED ON MEASUREMENTS AND MODELING, ARTICLE, WATER, 21, 2018.

COFFMAN L.S., LOW-IMPACT DEVELOPMENT DESIGN: A NEW PARADIGM FOR STORMWATER MANAGEMENT MIMICKING AND RESTORING THE NATURAL HYDROLOGIC REGIME; AN ALTERNATIVE STORMWATER MANAGEMENT TECHNOLOGY, ARTICLE, MARYLAND COUNTY, USA: PRINCE GEORGE'S COUNTY DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL, 2000.

DE AGUIR DO COUTO E., CALIJURI M. L., ASSEMAN P. P., DA FONSECA SANTIAGO A., DE CASTRO CARVALHO I., GREYWATER PRODUCTION IN AIRPORTS: QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ASSESSMENT RESOURCES, ARTICLE, CONSERVATION AND RECYCLING, 18, 2013.

EC, EUROPEAN COMMISSION.

EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, URBAN ENVIRONMENT, 2017.

EUPOLIS-PROJECT.EU

EIB, EUROPEAN INVESTMENT BANK, THE STORY OF YOUR CITY: EUROPE AND ITS URBAN DEVELOPMENT, 1970 TO 2020, 2018.

ERIKSSON E., K. AUFFARTH, A.-M. EILERSEN, M. HENZE, A. LEDIN (2003), HOUSEHOLD CHEMICALS AND PERSONAL CARE PRODUCTS AS SOURCES FOR XENOBIOTIC ORGANIC COMPOUNDS IN GREY WASTEWATER, WATER SA., VOL. 29, NO. 2, P 135-146, 2003.

FLETCHER T.D., SHUSTER W., HUNT W.F., ASHLEY R., BUTLER D., ARTHUR S., TROWSDALE S., BARRAUD S., SEMADENI-DAVIES A., BERTRAND-KRAJEWSKI JEAN-LUC, MIKKELSEN P.S., GILLES R., UHL M., DAGANEIS D., VIKLANDER M., SUDS, LID, BMPs, WSUD AND MORE – THE EVOLUTION AND APPLICATION OF TERMINOLOGY SURROUNDING URBAN DRAINAGE, ARTICLE, URBAN WATER JOURNAL, 20, 2014.

FLÖRKE M. AND ALCAMO J., EUROPEAN OUTLOOK ON WATER USE, ARTICLE, 2004.

FREEBORN J.R., SAMPLE D.J., RESIDENTIAL STORMWATER METHODS FOR DECREASING RUNOFF AND INCREASING STORMWATER INFILTRATION, ARTICLE, JOURNAL OF GREEN BUILDING 7 (2): 15-30, 2012.

GALBRAITH K, «SAVING UP FOR A DRY DAY» THE NEW YORK TIMES ONLINE, 2012.

GOULD J., NIESSEN-PETERSEN E., RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS FOR DOMESTIC SUPPLY : DESIGN, CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION, BOOK, 352, 1999.

HANCIOGLU N., KURUNC A., TONTULB I. AND TOPUZ A., GROWTH, WATER USE, YIELD AND QUALITY PARAMETERS IN OREGANO AFFECTED BY REDUCED IRRIGATION REGIMES, ARTICLE, JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE, 8, 2020.

HOEKSTRA A., WATER FOOTPRINT, 2002.

HOLLING CS, RESILIENCE AND STABILITY OF ECOLOGICAL SYSTEMS. ANNU REV ECOL SYST 4(1):1–23 ISO 31000:2018 (2018) RISK MANAGEMENT – GUIDELINES, GENEVA, SWITZERLAND, 1973.

INNOVYZE RESOURCE CENTER.

KATUKIZA A. Y., RONTELTAP M., NIWAGABA C. B., KANSIIME F., LENS P. N. L., GREY WATER CHARACTERISATION AND POLLUTANT LOADS IN AN URBAN SLUM, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, **14**, 2014.

KHASTAGIR A., JAYASURIYA N., OPTIMAL SIZING OF RAIN WATER TANKS FOR DOMESTIC WATER CONSERVATION, *ARTICLE, JOURNAL OF HYDROLOGY*, **8**, 2010.

KNUTSSON J. AND P. KNUTSSON, WATER AND ENERGY SAVINGS FROM GREYWATER REUSE: A MODELLING SCHEME USING DISAGGREGATED CONSUMPTION DATA, *ARTICLE, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY AND WATER RESOURCES*, **12**, 2020.

LA LOGGIA G., FRENI G., PULEO V., FLOODABILITY: A NEW PARADIGM FOR DESIGNING URBAN DRAINAGE AND ACHIEVING SUSTAINABLE URBAN GROWTH, *ARTICLE, WATER RESOURCES MANAGEMENT*, **14**, 2011.

LEGATES D., MCCABE G., EVALUATING THE USE OF “GOODNESS-OF-FIT” MEASURES IN HYDROLOGIC AND HYDROCLIMATIC MODEL VALIDATION, *ARTICLE, WATER RESOURCES RESEARCH*, **19**, 1999.

MAKROPOULOS C.K., K. NATSIS, S. LIU, K. MITTAS, D. BUTLER, DECISION SUPPORT FOR SUSTAINABLE OPTION SELECTION IN INTEGRATED URBAN WATER MANAGEMENT, *ARTICLE, ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE*, **13**, 2008.

MATOS C., S. PEREIRA, E.V. AMORIM, I. BENTES, A. BRIGA-SÁ, WASTEWATER AND GREYWATER REUSE ON IRRIGATION IN CENTRALIZED AND DECENTRALIZED SYSTEMS — AN INTEGRATED APPROACH ON WATER QUALITY, ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS, *ARTICLE, SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, **9**, 2014.

MENEGAKI A., HANLEY N., TSAGARAKIS K., THE SOCIAL ACCEPTABILITY AND VALUATION OF RECYCLED WATER IN CRETE: A STUDY OF CONSUMERS' AND FARMERS' ATTITUDES, *ARTICLE, ECOLOGICAL ECONOMICS*, **12**, 2007.

MITCHELL V.G., APPLYING INTEGRATED URBAN WATER MANAGEMENT CONCEPTS: A REVIEW OF AUSTRALIAN EXPERIENCE, *ARTICLE, ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, **37** (5), 589–605, 2006.

NEVILLE J, COATS G., URBAN DESIGN AND CIVIL SOCIETY IN NEW ORLEANS: CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND STRATEGIES IN THE POST-FLOOD DESIGN MOMENT, *ARTICLE, JOURNAL OF URBAN DESIGN*, **16**, 2009.

NEWMAN P. AND MOURITZ M., PRINCIPLES AND PLANNING OPPORTUNITIES FOR COMMUNITY SCALE SYSTEMS OF WATER AND WASTE MANAGEMENT, *ARTICLE, DESALINATION*, **16**, 1996.

NOLDE E., GREYWATER REUSE SYSTEMS FOR TOILET FLUSHING IN MULTI-STOREY BUILDINGS — OVER TEN YEARS EXPERIENCE IN BERLIN, *ARTICLE, URBAN WATER*, **10**, 2000.

OTENG-PEPRAH M., ACHEAMPONG M.A., DE VRIES N., GREYWATER CHARACTERISTICS, TREATMENT SYSTEMS, REUSE STRATEGIES AND USER PERCEPTION—A REVIEW, *ARTICLE, WATER, AIR AND SOIL POLLUTION*, **16**, 2018.

RAMOS M. H., CHARLOTTE TEYSSIER, IRENE SAMORA, ANTON J. SCHLEISS, ENERGY RECOVERY IN SUDS TOWARDS SMART WATER GRIDS: A CASE STUDY, *ARTICLE, ENERGY POLICY*, **10**, 2013.

ROZOS E., C. MAKROPOULOS, ASSESSING THE COMBINED BENEFITS OF WATER RECYCLING TECHNOLOGIES BY MODELLING THE TOTAL URBAN WATER CYCLE, *ARTICLE, URBAN WATER JOURNAL*, **11**, 2012.

SANSALONE J., KUANG X. AND RANIERI, PERMEABLE PAVEMENT AS HYDRAULIC AND FILTRATION INTERFACE FOR URBAN DRAINAGE, *ARTICLE, JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING*, **666-674**, 2008.

SHIMIZU YASUTOSHI, DEJIMA SATOSHI, TOYOSADA KANAKO, CO₂ EMISSION FACTOR FOR RAINWATER AND RECLAIMED WATER USED IN BUILDINGS IN JAPAN, *ARTICLE, WATER*, **11**, 2013.

STRATIGEA D., MAKROPOULOS C., BALANCING WATER DEMAND REDUCTION AND RAINFALL RUNOFF MINIMISATION: MODELLING GREEN ROOFS, RAINWATER HARVESTING AND GREYWATER REUSE SYSTEMS, *ARTICLE, WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER SUPPLY*, **10**, 2015.

STRUCK S.D., FIELD R. AND PITT R., GREEN INFRASTRUCTURE FOR CSO CONTROL IN KANSAS CITY, MISSOURI, IN PROCEEDINGS OF CONFERENCE ON LOW IMPACT DEVELOPMENT 2010: REDEFINING WATER IN THE CITY. RESTON, VA: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 2010.

SUSTAINABLE STORMWATER MANAGEMENT, 2007.

TSAFTARIDI, E.A., 2020, ASSESSMENT OF THE POTENTIAL FOR IMPLEMENTATION OF BG SOLUTIONS AND RESOURCE RECYCLING WITH PARTICIPATION OF LOCAL STAKEHOLDERS, MASTER THESIS, IMPERIAL COLLEGE OF LONDON, 114, 2020.

TSAGARAKIS K., TSOUMANIS P., CHARTZOULAKIS K., ANGELAKIS A., WATER RESOURCES STATUS INCLUDING WASTEWATER TREATMENT AND REUSE IN GREECE, RELATED PROBLEMS AND PROSPECTIVES, ARTICLE, WATER INTERNATIONAL, 8, 2001.

TWDB, THE TEXAS MANUAL ON RAINWATER HARVESTING, 2005.

UN, UNITED NATIONS, WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT 2, 2006.

UNEP, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME.

US EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

USGS, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, WORLD FRESH WATER RESOURCES, 1993.

VILLARREAL E., RUNOFF DETENTION EFFECT OF A SEDUM GREEN-ROOF, ARTICLE, NORDIC HYDROLOGY, 7, 2007.

WB, WORLD BANK, URBAN POPULATION, 2018.

WRI, WORLD RESOURCES INSTITUTE, AQUEDUCT WATER RISK ATLAS, 2019.

9. Παραρτήματα

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ..	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΠΑΡΑΔΟΧΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΩΝ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (BESSON ET AL., 2021, HYDRALOOP)	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ (VERSION 1)	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 ΔΕΙΚΤΕΣ NSE ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ (VERSION 2)	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 17 ΔΕΙΚΤΕΣ NSE ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 18 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 19 ΔΕΙΚΤΕΣ NSE ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 20 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ BASELINE SCENARIO (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 21 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-RWH (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 22 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-GWR (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-ALL (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ) ...	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 24 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-GWR (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 25 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-ALL (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 26 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HIGH-ALL (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 27 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-RWH 1 (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	110

ΠΙΝΑΚΑΣ 28 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-ALL (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 29 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-ALL+GWR FOR WC (ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ)	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 30 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 31 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 32 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (LOW) ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΣΑΜΕ ΜΟΝΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 33 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (MEDIUM) ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΣΑΜΕ ΜΟΝΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 34 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (HIGH) ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΣΑΜΕ ΜΟΝΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 35 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 36 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 37 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (LOW) ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΣΑΜΕ ΜΟΝΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 38 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (MEDIUM) ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΔΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΣΑΜΕ ΜΟΝΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ	129

ΓΡΑΦΗΜΑ 1 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΜΕΣΩ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	76
ΓΡΑΦΗΜΑ 2 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	78
ΓΡΑΦΗΜΑ 3 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	79
ΓΡΑΦΗΜΑ 4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	81
ΓΡΑΦΗΜΑ 5 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	82
ΓΡΑΦΗΜΑ 6 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	82
ΓΡΑΦΗΜΑ 7 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	84
ΓΡΑΦΗΜΑ 8 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	84
ΓΡΑΦΗΜΑ 9 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	85
ΓΡΑΦΗΜΑ 10 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	86
ΓΡΑΦΗΜΑ 11 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕ ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	87
ΓΡΑΦΗΜΑ 12 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	87
ΓΡΑΦΗΜΑ 13 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	88
ΓΡΑΦΗΜΑ 14 ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	90
ΓΡΑΦΗΜΑ 15 ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ	91
ΓΡΑΦΗΜΑ 16 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΘΕ ΧΡΗΣΗ	91
ΓΡΑΦΗΜΑ 17 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	94
ΓΡΑΦΗΜΑ 18 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	95
ΓΡΑΦΗΜΑ 19 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	97
ΓΡΑΦΗΜΑ 20 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	97
ΓΡΑΦΗΜΑ 21 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	99
ΓΡΑΦΗΜΑ 22 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΚΟΙΝΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	100
ΓΡΑΦΗΜΑ 23 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	102
ΓΡΑΦΗΜΑ 24 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	103
ΓΡΑΦΗΜΑ 25 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	105

ΓΡΑΦΗΜΑ 26 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΚΟΙΝΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	105
ΓΡΑΦΗΜΑ 27 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	107
ΓΡΑΦΗΜΑ 28 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΚΟΙΝΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	108
ΓΡΑΦΗΜΑ 29 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	111
ΓΡΑΦΗΜΑ 30 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	111
ΓΡΑΦΗΜΑ 31 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ.....	114
ΓΡΑΦΗΜΑ 32 ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ.....	114
ΓΡΑΦΗΜΑ 33 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΩΝ ΔΩΜΑΤΩΝ	117
ΓΡΑΦΗΜΑ 34 ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ.....	117
ΓΡΑΦΗΜΑ 35 ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	118
ΓΡΑΦΗΜΑ 36 ΜΗΝΙΑΙΑ ΧΡΗΣΗ ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ ΚΑΙ ΤΑ WC ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ	118
ΓΡΑΦΗΜΑ 37 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	121
ΓΡΑΦΗΜΑ 38 ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΩΝ ΔΩΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	123
ΓΡΑΦΗΜΑ 39 ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	123
ΓΡΑΦΗΜΑ 40 ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	124
ΓΡΑΦΗΜΑ 41 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	124
ΓΡΑΦΗΜΑ 42 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	125
ΓΡΑΦΗΜΑ 43 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	125
ΓΡΑΦΗΜΑ 44 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	126
ΓΡΑΦΗΜΑ 45 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	128
ΓΡΑΦΗΜΑ 46 ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΩΝ ΔΩΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	129
ΓΡΑΦΗΜΑ 47 ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	130
ΓΡΑΦΗΜΑ 48 ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	130
ΓΡΑΦΗΜΑ 49 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ	131
ΓΡΑΦΗΜΑ 50 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	131
ΓΡΑΦΗΜΑ 51 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	132
ΓΡΑΦΗΜΑ 52 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	132

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ ΓΗ (USGS, 1993)	12
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΛΟΓΟΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΕΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ (BASELINE WATER STRESS) (WRI AQUEDUCT, 2019)	12
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΗ (ΔΕΞΙΑ) (BALTAS, 2018, FLÖRKE AND ALCAMO, 2004)	13
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΛΟΓΟΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΕΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (BASELINE WATER STRESS) (WRI AQUEDUCT, 2019)	14
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΥΔΑΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ (ΟΔΗΓΟΣ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ, ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΕΙΡΑΙΩΣ 2008)	15
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΗΝ Ε.Ε. (EUROPEAN INVESTMENT BANK, 2018)	16
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ, ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ, Α.Π.Θ., 2020)	17
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΔΙΗΘΗΤΙΚΕΣ ΤΑΦΡΟΙ ΣΕ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ, INNOVYZE) ΚΑΙ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΕΡΓΟ (ΔΕΞΙΑ, SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT), 2007)	20
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ ΣΕ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ, SUSDRAIN) ΚΑΙ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΕΡΓΟ (ΔΕΞΙΑ, GARDENS BY WATER GEMS, 2017)	21
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΛΕΚΑΝΕΣ ΒΙΟΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗΣ ΣΕ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ, RAINSMART SOLUTIONS) ΚΑΙ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΕΡΓΟ (ΔΕΞΙΑ, OREGON STATE UNIVERSITY, 2018)	22
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΑ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΑ ΣΕ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ, SMITH D., 2006) ΚΑΙ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΕΡΓΟ (ΔΕΞΙΑ, ERHENRY ECOCENTER)	23
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΠΟΡΩΔΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΟ (LUCKE T. ET AL, 2013)	24
ΕΙΚΟΝΑ 13 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ (FLETCHER ET AL., 2014)	25
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΣΤΗΝ ΣΤΟΥΤΓΑΡΔΗ (CONSTANZO V., 2016)	26
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΕΓΗΣ (CIRIA, 2007)	26
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΓΡΑΣΙΔΙ (CHOW M.F ET AL, 2021)	28
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ ΣΤΗΝ ΑΓΓΛΙΑ (SKELTON LAKE MOTORWAY SERVICE AREA PROJECT IN LEEDS) (GEOGREEN, 2021)	29
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΤΑ ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΊΔΡΥΜΑ ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΑΡΧΟΣ (ΤΟΡΙΟΔΟΜΙ)	29
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΟΙΚΙΑΣ (ENFLOW)	32
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΜΕΓΙΣΤΑ ΟΡΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟ ΝΕΡΟ (ΣΧΟΡΕΤΣΑΝΙΤΗ, 2017)	33
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΠΟΣΟ ΓΚΡΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟ (MORAİTIS ET AL., 2021)	35

ΕΙΚΟΝΑ 22 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΜΑΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ (ERIKSSON E. ET AL., 2002)	36
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΟΙΚΙΑΚΟ ΜΠΑΝΙΟ (MORAİTIS ET AL., 2021).....	36
ΕΙΚΟΝΑ 24 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ NATURE BASED SOLUTIONSΣΤΟ ΕΥΡΟΛΙΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΕΥΡΟΛΙΣ)	46
ΕΙΚΟΝΑ 25 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΛΙΜΑΝΟΥ ΣΤΟΝ ΠΕΙΡΑΙΑ (ΕΥΡΟΛΙΣ)	48
ΕΙΚΟΝΑ 26 Η ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΩΝ ΡΑΛΛΕΙΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ (GOOGLE EARTH)	49
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΡΑΛΛΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΕΙΑ ΠΕΙΡΑΙΑ	51
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΤΑ ΑΣΦΑΛΤΟΠΑΝΑ ΣΤΑ ΔΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΧΩΡΟΙ ΤΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ, Η ΕΙΣΟΔΟΣ (ΠΑΝΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΟ ΓΗΠΕΔΟ ΜΠΑΣΚΕΤ (ΠΑΝΩ ΔΕΞΙΑ), ΤΟ ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΑΛΣΥΛΛΙΟ (ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ Ο ΚΗΠΟΣ (ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ)	52
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ	53
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	54
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΞΥΛΟ (ΜΑΚΡΟΡΟΥΛΟΣ ET AL., 2008)	56
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΜΟΡΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ (ΝΤΟΥΖ) ΣΤΟ ΞΥΛΟ ΟΠΟΥ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΡΟΕΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΣΗΜΑ ΤΟΥΣ	58
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ΞΥΛΟ	58
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΜΟΡΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ BLUE GREEN ΣΤΟ ΞΥΛΟ ΟΠΟΥ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΡΟΕΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΠΟΥ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΖΕΙ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΣΧΟΛΕΙΟΥ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ (GOOGLE EARTH)	61
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ Κ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΡΙΓΑΝΗΣ (HANCIOGLU N.E. ET AL., 2020)	63
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΚΑΘΑΡΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΤΟΥ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΧΩΡΟΥ	63
ΕΙΚΟΝΑ 39 ΔΩΜΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ 2 ΚΤΗΡΙΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΕΤΑΙ ΑΠΟ ΑΣΦΑΛΤΟΠΑΝΟ	64
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΝΟΤΙΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΒΡΥΣΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΤΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 41 ΤΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑΤΑΡΙΟ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ	65
ΕΙΚΟΝΑ 42 ΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΔΟΘΗΚΑΝ	66
ΕΙΚΟΝΑ 43 Η ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ-ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (BASELINE SCENARIO) (GOOGLE EARTH).....	67
ΕΙΚΟΝΑ 44 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (GOOGLE EARTH)	69
ΕΙΚΟΝΑ 45 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (GOOGLE EARTH)	70
ΕΙΚΟΝΑ 46 Η ΤΩΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ-BASELINE SCENARIO (GOOGLE EARTH)	77

ΕΙΚΟΝΑ 47 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥBASELINE SCENARIO ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT	89
ΕΙΚΟΝΑ 48 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-RWH	93
ΕΙΚΟΝΑ 49 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥLOW-RWH ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 50 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-GWR	95
ΕΙΚΟΝΑ 51 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-GWR ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 52 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-ALL	98
ΕΙΚΟΝΑ 53 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-ALL ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT	98
ΕΙΚΟΝΑ 54 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-GWR.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 55 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥMEDIUM-GWR ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 56 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-ALL	103
ΕΙΚΟΝΑ 57 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥMEDIUM-ALL ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT	104
ΕΙΚΟΝΑ 58 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HIGH-ALL.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 59 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥHIGH-ALL ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT	106
ΕΙΚΟΝΑ 60 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LOW-RWH 1	109
ΕΙΚΟΝΑ 61 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥLOW-RWH 1 ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT.....	109
ΕΙΚΟΝΑ 62 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-ALL	112
ΕΙΚΟΝΑ 63 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥMEDIUM-ALL ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT	112
ΕΙΚΟΝΑ 64 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MEDIUM-ALL+GWR FOR WC.....	115
ΕΙΚΟΝΑ 65 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥMEDIUM-ALL +GWR FOR WC ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ UWOT.....	115

