



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση μεθόδων διαχείρισης και εξοικονόμησης υδάτων
σε αστικές περιοχές

Παρασκευή Κάρκα

Επιβλέπων: Διονύσης Ασημακόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2010

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, με ειδίκευση στα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος. Η εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή και ταυτόχρονα τον κύκλο των μεταπτυχιακών μου σπουδών, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου και Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, κύριο Διονύση Ασημακόπουλο. Με την ανάθεση του θέματος και την παρότρυνσή του να ασχοληθώ με το αντικείμενο της διαχείρισης υδάτων σε αστικές περιοχές, με οδήγησε να ανακαλύψω μια θεματική περιοχή που εξακολουθεί να με ενδιαφέρει σε ερευνητικό επίπεδο. Επιπλέον, η συστηματική βοήθειά του και οι συμβουλές του συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
Περιεχόμενα.....	3
Εικόνες.....	5
Πίνακες	7
Περίληψη	8
1 Εισαγωγή	10
2 Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση νερού.....	14
2.1 Επίπεδα διαχείρισης αστικών υδάτων	14
2.1.1 Διαχείριση σε αστική κλίμακα.....	15
2.1.2 Διαχείριση σε αποκεντρωμένη κλίμακα και χρήση νερού διαβαθμισμένης ποιότητας	17
2.2 Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων σε αστικές περιοχές.....	19
2.2.1 Εναλλακτικές πηγές νερού σε επίπεδο οικιακής μονάδας.....	19
2.2.2 Μέθοδοι ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης σε αποκεντρωμένη κλίμακα	21
Σηπτικές δεξαμενές.....	21
Συστήματα με αερισμό	21
Σύστημα επαναχρησιμοποίησης «γκρίζου νερού»	22
Δεξαμενές συλλογής ομβρίων υδάτων	23
2.2.3 Συστήματα ανακύκλωσης – επαναχρησιμοποίησης σε κτήρια αστικού τύπου.....	25
3 Μεθοδολογικό Πλαίσιο	27
3.1 Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου σε αστικές περιοχές	27
3.2 Μέθοδος υπολογισμών	29
3.3 Αναπαράσταση διεργασιών αστικού υδατικού κύκλου σύμφωνα με το Aquacycle	31
3.3.1 Διεργασίες και χρησιμοποιούμενα μοντέλα του Aquacycle.....	32
Αδιαπέρατες επιφάνειες.....	32
Διαπερατές επιφάνειες και δεξαμενή υπόγειας αποθήκευσης.....	32
Εξατμισοδιαπνοή	33
Νερό οικιακής χρήσης	33
Άρδευση Αστικών Περιοχών.....	33
Μέθοδοι ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού	34
3.3.2 Χρονική και χωρική κλίμακα προσομοίωσης του Aquacycle.....	35

Χρονικό Βήμα.....	35
Χωρική κλίμακα του μοντέλου.....	35
Μονάδα κατανάλωσης (Unit Block).....	35
Συγκρότημα (Cluster)	36
Συνολική Αστική Περιοχή (Catchment)	36
4 Αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης νερού με χρήση του μοντέλου Aquacycle - Εφαρμογή στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας	37
4.1 Σύστημα ύδρευσης της Αθήνας	37
4.1.1 Μονάδες επεξεργασίας νερού	38
4.1.2 Δίκτυο ύδρευσης	39
4.1.3 Προσφορά πόσιμου νερού και κατηγορίες χρήσεων	39
4.1.4 Απώλειες νερού.....	41
4.1.5 Εποχική και ημερήσια διακύμανση της κατανάλωσης.....	41
4.2 Σύστημα αποχέτευσης - Επεξεργασία αστικών λυμάτων.....	42
4.2.1 Λειτουργία δικτύου αποχέτευσης	42
4.2.2 Επεξεργασία αστικών λυμάτων	43
4.3 Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο Aquacycle	44
4.3.1 Οικιακή κατανάλωση νερού	44
4.3.2 Κλιματικά Δεδομένα.....	45
Κατακρημνίσεις	45
Δυνητική εξατμισοδιαπνοή.....	46
4.3.3 Μετρούμενες παράμετροι και παράμετροι βαθμονόμησης	47
4.3.4 Δεδομένα παροχών πόσιμου νερού, υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων	49
4.4 Επιλογή των ορίων της υπό μελέτη περιοχής	50
4.5 Διαδικασία διαχωρισμού της περιοχής σε Συγκροτήματα (Clusters).....	52
4.5.1 Κατανομή Πληθυσμού.....	52
4.5.2 Κατηγορίες Χρήσεων Γης	53
4.5.3 Επιλογή έκτασης αστικού τύπου	54
4.6 Προσδιορισμός Μετρούμενων Παραμέτρων του Aquacycle για την υπό μελέτη περιοχή.....	58
4.6.1 Παράμετροι Συγκροτήματος.....	59
4.6.2 Παράμετροι Μονάδας Κατανάλωσης	61
4.7 Παράμετροι βαθμονόμησης του Aquacycle	63
4.7.1 Απορροή ομβρίων υδάτων	63
Παράμετροι απορροής αδιαπέρατων περιοχών	63
Παράμετροι εισροής υγρασίας του υπεδάφους στο σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων.....	63

4.7.2 Παραγωγή υγρών αποβλήτων.....	64
Παράμετροι βαθμονόμησης ποσοτήτων υγρών αποβλήτων.....	64
4.7.3 Χρήση νερού δικτύου ύδρευσης για άρδευση πράσινων και δημόσιων ανοικτών χώρων.....	64
5 Αποτελέσματα.....	65
5.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	65
5.2 Εφαρμογή μεθόδων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα.....	69
5.2.1 Χρήση ομβρίων υδάτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα.....	71
5.2.2 Ανακύκλωση υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα.....	72
5.2.3 Επαναχρησιμοποίηση «γκρίζου νερού» για υπεδάφια άρδευση	73
5.2.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	74
6 Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....	75
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	76
Παράρτημα.....	79
1 Υπόμνημα χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE	79
2 Διαδικασία υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής	80
Η εξίσωση Penman-Monteith	80
Διαδικασία υπολογισμών	81
3 Μετρούμενες Παράμετροι – Παράμετροι Βαθμονόμησης.....	85
4 Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο Aquacycle.....	90
5 Λεξικό Όρων.....	94

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 Παράδειγμα διαχείρισης υδάτων σε αστική κλίμακα με κύριο χαρακτηριστικό τις συγκεντρωτικές δομές.....	15
Εικόνα 2 Παράδειγμα συστήματος με χαρακτηριστικό την επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστική κλίμακα.....	16
Εικόνα 3 Μετάβαση από συγκεντρωτικές σε αποκεντρωμένες δομές, (Sharma A. and Burn S., 2008).....	17
Εικόνα 4 Παράδειγμα συστήματος με βασικό χαρακτηριστικό την ανακύκλωση νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα.....	18
Εικόνα 5 Τύποι οικιακών υγρών αποβλήτων	20
Εικόνα 6 Σύστημα με σηπτική δεξαμενή.....	21
Εικόνα 7 Σύστημα με αερισμό.....	22
Εικόνα 8 Σύστημα διαχωρισμού παροχών.....	22

Εικόνα 9 Πρωτοβάθμιο και δευτεροβάθμιο σύστημα επαναχρησιμοποίησης "γκρίζου νερού"	23
Εικόνα 10 Σύστημα συλλογής ομβρίων σε αποκεντρωμένη κλίμακα.....	24
Εικόνα 11 Παραδείγματα συλλογής ομβρίων υδάτων	25
Εικόνα 12 Συμβατικό Σύστημα και Σύστημα με Επαναχρησιμοποίηση Υγρών Αποβλήτων	26
Εικόνα 13 Σύστημα Επαναχρησιμοποίησης «γκρίζου νερού» και είδη αγωγών	26
Εικόνα 14 Υδατικό ισοζύγιο σε αστική περιοχή	28
Εικόνα 15 Προσομοίωση αστικού υδατικού κύκλου	29
Εικόνα 16 Μέθοδος προσομοίωσης που χρησιμοποιεί το Aquacycle.....	31
Εικόνα 17 Μοντέλο προσομοίωσης διαπερατών περιοχών.....	32
Εικόνα 18 Μέθοδοι εξοικονόμησης νερού σύμφωνα με το Aquacycle	34
Εικόνα 19 Απεικόνιση του Unit Block.....	35
Εικόνα 20 Απεικόνιση του Cluster	36
Εικόνα 21 Απεικόνιση του Catchment	36
Εικόνα 22 Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας	37
Εικόνα 23 Ιστορική εξέλιξη κατανάλωσης νερού στην Αθήνα.....	38
Εικόνα 24 Κατανομή κατανάλωσης στους διάφορους τομείς χρήσεων.....	40
Εικόνα 25 Τμήμα του δικτύου αποχέτευσης του κέντρου της Αθήνας που διαθέτει παντοροϊκό δίκτυο	42
Εικόνα 26 Ημερήσιες τιμές κατακρημνίσεων	45
Εικόνα 27 Ημερήσιες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής	46
Εικόνα 28 Όρια Λεκανοπεδίου Αττικής.....	50
Εικόνα 29 Περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ	51
Εικόνα 30 Κατανομή πληθυσμού στην υπό μελέτη περιοχή.....	53
Εικόνα 31 Ψηφιακή απεικόνιση χρήσεων γης του CORINE	53
Εικόνα 32 Απεικόνιση ψηφιακού χάρτη οδικού δικτύου	54
Εικόνα 33 Απεικόνιση χρήσεων γης αστικού τύπου	55
Εικόνα 34 Επιλογή αστικών εκτάσεων.....	55
Εικόνα 35 Κατηγοριοποίηση των περιοχών σύμφωνα με το κριτήριο διαχωρισμού..	57
Εικόνα 36 Η τελική διαμόρφωση των 52 Συγκροτημάτων	58
Εικόνα 37 Συλλογή δεδομένων που αφορούν σε μετρούμενες παραμέτρους του μοντέλου	59
Εικόνα 38 Κατανομή χρήσεων γης στην κλίμακα του Cluster.....	59
Εικόνα 39 Ψηφιακός χάρτης ανοικτών δημόσιων χώρων	61
Εικόνα 40 Εκτιμώμενες και πραγματικές τιμές νερού δικτύου ύδρευσης.....	66
Εικόνα 41 Εκτιμώμενες και πραγματικές τιμές υγρών αποβλήτων	67
Εικόνα 42 Απορροή ομβρίων υδάτων και κατακρημνίσεις.....	67

Εικόνα 43 Επιλογές εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα	70
Εικόνα 44 Δεξαμενή ομβρίων υδάτων.....	71
Εικόνα 45 Διαδοχική εφαρμογή μεθόδου συλλογής ομβρίων υδάτων.....	72
Εικόνα 46 Σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα ...	72
Εικόνα 47 Διαδοχική εφαρμογή μεθόδου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	73
Εικόνα 48 Διαδοχική εφαρμογή μεθόδου υπεδάφιας άρδευσης με «γκρίζο νερό».....	73

Πίνακες

Πίνακας 1 Παράδειγμα δεδομένων για το οικιακό προφίλ κατανάλωσης σύμφωνα με το Aquacycle για την περίπτωση Canberra (1992-1995), L/d.....	33
Πίνακας 2 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού	38
Πίνακας 3 Προφίλ κατανάλωσης νερού σε εσωτερικές χρήσεις ενός νοικοκυριού....	44
Πίνακας 4 Κατανάλωση νερού σε οικιακή κλίμακα ως συνάρτηση της δυναμικότητας και του τύπου των χρήσεων	45
Πίνακας 5 Παράμετροι που αναπαριστούν φυσικά και δομικά χαρακτηριστικά.....	47
Πίνακας 6 Παράμετροι βαθμονόμησης	48
Πίνακας 7 Τύποι Συγκροτημάτων	56
Πίνακας 8 Παράμετροι Συγκροτήματος (Cluster).....	60
Πίνακας 9 Υπολογισμός έκτασης οδικού δικτύου.....	60
Πίνακας 10 Παράμετροι Μονάδας Κατανάλωσης	62
Πίνακας 11 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό απορροής ομβρίων υδάτων.....	63
Πίνακας 12 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό εισροής υγρασίας στο σύστημα αποχέτευσης.....	64
Πίνακας 13 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό ποσοτήτων υγρών αποβλήτων	64
Πίνακας 14 Αποτελεσματικότητα από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης νερού στο 100% της υπό μελέτη περιοχής.....	74
Πίνακας Π 1 Κατανομή Χρήσεων γης CORINE	79
Πίνακας Π 2 Υπολογισμοί δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ΕΤο με τη χρήση της εξίσωσης FAO Penman – Monteith)	82
Πίνακας Π 3 Μετρούμενες παράμετροι Μονάδων Κατανάλωσης.....	85
Πίνακας Π 4 Μετρούμενες παράμετροι Συγκροτημάτων.....	86
Πίνακας Π 5 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό απορροής ομβρίων υδάτων.....	87
Πίνακας Π 6 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό υγρών αποβλήτων και νερού ύδρευσης.....	88

Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία εστιάζει στην αξιολόγηση μεθόδων και τεχνολογιών ορθολογικής διαχείρισης και εξοικονόμησης νερού στην περίπτωση μεγάλου αστικού συγκροτήματος. Ειδικότερα, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής μέτρων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα και πραγματοποιείται αξιολόγηση στη βάση ποσοτικών δεικτών που εκφράζουν την απόδοση των μέτρων εξοικονόμησης.

Η υπό μελέτη περιοχή για την οποία πραγματοποιείται η αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης είναι η έκταση που περικλείεται από τα όρια της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας. Η ανάλυση του συστήματος αστικών υδάτων βασίζεται στην προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου που περιγράφει το ισοζύγιο μάζας του νερού στα όρια της υπό μελέτη περιοχής. Αποτελέσματα της διατύπωσης του υδατικού ισοζυγίου είναι η ζήτηση νερού ύδρευσης και οι παροχές υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων. Επίσης, αποτυπώνεται η διαθεσιμότητα ποιοτικά διαβαθμισμένων παροχών νερού που αποτελούν πηγές κατάλληλες για ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση στην αστική περιοχή.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το υπολογιστικό εργαλείο Aquacycle, για να υποστηρίξει την ανάπτυξη σεναρίων μέσω των οποίων προτείνεται η εφαρμογή πρακτικών εξοικονόμησης νερού, με χρήση της επιφανειακής απορροής ομβρίων υδάτων και των παραγόμενων υγρών αποβλήτων ως εναλλακτικές πηγές ποιοτικά διαβαθμισμένου νερού.

Η διαδικασία της προσομοίωσης περιλαμβάνει τα στάδια της συλλογής δεδομένων και της βαθμονόμησης του μοντέλου. Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάπτυξη σεναρίων εξοικονόμησης νερού και ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας των μέτρων αυτών στη βάση ποσοτικών δεικτών.

Τα δεδομένα που εισάγονται στο Aquacycle συνοψίζονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Οικιακή κατανάλωση νερού
- Κλιματικά δεδομένα
- Μετρούμενες παράμετροι που αφορούν σε φυσικά και οικιστικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Οι τρεις ομάδες δεδομένων εισάγονται στο μοντέλο και ακολουθεί η διαδικασία της βαθμονόμησης. Κατά τη διαδικασία αυτή επιλέγεται κατάλληλα η τιμή μιας σειράς παραμέτρων που έχουν σημαντική συνεισφορά στον υπολογισμό των μεγεθών του μοντέλου (ζήτηση πόσιμου νερού, παραγωγή υγρών αποβλήτων, απορροή ομβρίων υδάτων) με δοκιμή και σφάλμα ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό μικρότερη απόκλιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου από τις πραγματικές τιμές των μεγεθών. Αυτές οι παράμετροι σχετίζονται με χαρακτηριστικά του προς εξέταση συστήματος, όπως είναι η συστηματικότητα της άρδευσης, ο βαθμός εισροής ομβρίων υδάτων και υγρασίας στο αποχετευτικό σύστημα, το ποσοστό της επιφανειακής απορροής που καταλήγει στο δίκτυο ομβρίων υδάτων κτλ.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι η ζήτηση νερού ύδρευσης και οι παροχές υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων στην περιοχή μελέτης. Οι τιμές της ζήτησης

νερού ύδρευσης επαληθεύτηκαν με πραγματικές τιμές από τις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (Γαλάτσι, Μενίδι, Κιούρκα, Μάνδρα) και η παροχή υγρών αποβλήτων με τιμές από τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Ψυττάλειας.

Μετά την ολοκλήρωση του σταδίου της προσομοίωσης εξετάζεται η επίδραση της εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα, στη μείωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης, της παραγωγής υγρών αποβλήτων και της απορροής ομβρίων υδάτων.

Οι μέθοδοι εξοικονόμησης που μελετώνται στην παρούσα εργασία είναι:

- Χρήση ομβρίων υδάτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα (ανά κτήριο). Το μέτρο αυτό εξετάζει το ενδεχόμενο τοποθέτησης δεξαμενής συλλογής ομβρίων υδάτων δυναμικότητας 2m^3 σε κάθε κτήριο. Η δεξαμενή συλλέγει την απορροή από τη στέγη του κτηρίου και παρέχει τη συλλεχθείσα ποσότητα νερού προς τις εσωτερικές (λουτρό, τουαλέτα) και τις εξωτερικές χρήσεις (άρδευση κήπου) κάθε κτηρίου.
- Ανακύκλωση υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα (ανά κτήριο). Το μέτρο αυτό προτείνει την εγκατάσταση μονάδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του κτηρίου. Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται το ενδεχόμενο τοποθέτησης μιας δεξαμενής δυναμικότητας 5m^3 για την αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Για τις ανάγκες των υπολογισμών γίνεται η παραδοχή ότι η μονάδα επεξεργάζεται τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τη χρήση του νερού σε ένα νοικοκυριό (κουζίνα, τουαλέτα, λουτρό, πλυντήριο) και το επεξεργασμένο νερό που διατίθεται προσφέρεται για να καλύψει ζήτηση νερού για εσωτερική χρήση (τουαλέτα) και εξωτερική χρήση (άρδευση).
- Επαναχρησιμοποίηση «γκρίζου νερού» για υπεδάφια άρδευση. Η παροχή «γκρίζου νερού» που προέρχεται από την κουζίνα, το λουτρό και το πλυντήριο χρησιμοποιείται για να καλύψει τις αρδευτικές ανάγκες στην περίπτωση όπου υπάρχει ζήτηση νερού άρδευσης στο κτήριο.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης νερού βασίστηκε στη χρήση τριών δεικτών που είναι:

- Η μείωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης.
- Η μείωση του όγκου των υγρών αποβλήτων
- Η μείωση της απορροής ομβρίων υδάτων

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάπτυξη των σεναρίων εξοικονόμησης νερού παρουσιάζουν ότι όλες οι μέθοδοι επιτυγχάνουν μείωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης και των παροχών ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων. Κατά την εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης νερού στο σύνολο της υπό μελέτη περιοχής αποδεικνύεται ότι το μέτρο της επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα είναι περισσότερο αποτελεσματικό μεταξύ των υπολοίπων καθώς συντελεί στη μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού ύδρευσης.

1 Εισαγωγή

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση μεθόδων και τεχνολογιών ορθολογικής διαχείρισης και εξοικονόμησης νερού σε επίπεδο μεγάλου αστικού συγκροτήματος. Ειδικότερα, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα, μέσω της χρήσης ποσοτικών δεικτών, της εφαρμογής μέτρων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα.

Η προσφορά πόσιμου νερού σε μια αστική περιοχή σε συνδυασμό με το βαθμό ύπαρξης υποδομών συλλογής και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν βασικές λειτουργίες που χαρακτηρίζουν το επίπεδο ανάπτυξης της.

Οι πιέσεις που δέχονται οι αστικές περιοχές εξαιτίας φαινομένων όπως η αύξηση του πληθυσμού, η κλιματική μεταβολή και η ρύπανση καθιστούν απαραίτητη την αναθεώρηση του τρόπου διαχείρισης των υδατικών πόρων εξαιτίας του πεπερασμένου χαρακτήρα τους και της ποιοτικής υποβάθμισης που υφίστανται, (White and Turner, 2003).

Η μέχρι τώρα προσέγγιση στη διαχείριση των υδάτων σε αστικό περιβάλλον προσανατολιζόταν στην προσφορά νερού ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες ζήτησης ενώ στερούνταν κάθε έννοιας ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης.

Επιπλέον, οι υποδομές ύδρευσης και αποχέτευσης χαρακτηρίζονται για την παλαιότητά τους και για την ταχύτερη κατασκευή τους, η οποία είχε στόχο να εξυπηρετήσει τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και των συνεπαγόμενων αναγκών και ταυτόχρονα να διαφυλάξει τα επίπεδα της δημόσιας υγείας αποτρέποντας κατά το δυνατό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από συγκεντρωτικές δομές και έχουν χαρακτήρα «ανοικτού βρόχου» ακολουθώντας δηλαδή την πορεία της προσφοράς, της χρήσης του νερού και της τελικής απορροής σε υδάτινους αποδέκτες χωρίς καμιά πρακτική επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης, (Hiessl et al, 2003).

Ο επανασχεδιασμός των συστημάτων αστικών υδάτων θα πρέπει επομένως να στραφεί προς μια πιο βιώσιμη κατεύθυνση και να είναι επικεντρωμένος στη μετάβαση από τις κεντρικές δομές σε μικρά, ευέλικτα και οικονομικά αποδεκτά σχήματα εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα διαχείρισης.

Παράδειγμα μεγάλου αστικού συγκροτήματος με χαρακτήρα συγκεντρωτικής δομής και έλλειψη πρακτικών εξοικονόμησης νερού αποτελεί η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας που είναι η υπό μελέτη περιοχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το υδροδοτικό σύστημα της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας καλύπτει τις ανάγκες μιας έκτασης περίπου 400km². Χαρακτηρίζεται για την πολυπλοκότητα του τροφοδοτικού δικτύου, την παλαιότητα των υδραγωγείων, τη γεωγραφική διασπορά και τη μεγάλη απόσταση των πηγών από τους καταναλωτές, ενώ βασικό πρόβλημα είναι η διαχείριση του φυσικού πόρου σε συνδυασμό με την αύξηση της κατανάλωσης. Επίσης, όσον αφορά στο κομμάτι του αποχετευτικού δικτύου, τα υγρά απόβλητα της περιοχής καταλήγουν στην κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων στην Ψυττάλεια.

Η ανάλυση του συστήματος αστικών υδάτων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας βασίζεται στην προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου που περιγράφει το ισοζύγιο μάζας του νερού στα όρια της περιοχής μελέτης. Το υδατικό ισοζύγιο που αποτυπώνεται

αποδίδει μια αντιπροσωπευτική εικόνα για τη ζήτηση του νερού ύδρευσης και τις παροχές υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων. Συγχρόνως, αποτελεί και ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διατύπωση προτάσεων υιοθέτησης μεθόδων επαναχρησιμοποίησης ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων.

Πολλοί συγγραφείς-ερευνητές έχουν ως τώρα παρουσιάσει τα αποτελέσματα μελετών τους που προκύπτουν από την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των διεργασιών ενός αστικού υδατικού συστήματος. Οι πρώτες βιβλιογραφικές αναφορές ήταν βασισμένες σε σχετικά απλούς υπολογισμούς μέσου μηνιαίου ή ετήσιου χρονικού βήματος, (Binder et al., 1997; Herman and Klalous, 1997, Uunk and van der Ven, 1984), ενώ παράλληλα η χρήση εργαλείων λεπτομερούς ανάλυσης, όπως λογισμικά προσομοίωσης, ήταν περιορισμένη.

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζεται σειρά εργαλείων που προσδίδουν μια λεπτομερή περιγραφή και διαφορετική θεώρηση στη μελέτη του αστικού υδατικού κύκλου. Πρόκειται για αιτιοκρατικά μοντέλα προσομοίωσης, που χρησιμοποιούν δεδομένα εισόδου υπό τη μορφή χρονοσειρών, όπως κλιματικές παραμέτρους, με σκοπό την πρόβλεψη διαφόρων μεγεθών του αστικού υδατικού κύκλου, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις.

Ο Graham (1976) στα μέσα του 1970, ανέπτυξε, ένα απλουστευμένο υπολογιστικό μοντέλο για να αποτυπώσει το ισοζύγιο του αστικού υδατικού κύκλου, βασισμένο σε εμπειρικές εξισώσεις. Επρόκειτο για ένα συγκεντρωτικό μοντέλο σε κλίμακα λεκάνης απορροής, (lumped catchment scale model) και μηνιαίου χρονικού βήματος. Μια δεκαετία αργότερα, αναπτύχθηκε ένα συγκεντρωτικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου χωρικής κλίμακας, (spatially lumped water balance model) που είχε τη δυνατότητα ρύθμισης του χρονικού βήματος, μεταβαλλόμενου από ημερήσιο σε ετήσιο. Περιλάμβανε επίσης ως βασικό του τμήμα μια υπορουτίνα υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής σε αστικές περιοχές, (Grimmond et al., 1986). Μειονέκτημά του αποτελούσε το γεγονός ότι αυτή η υπορουτίνα απαιτούσε εκτιμήσεις επιφανειακών αεροδυναμικών χαρακτηριστικών, πληροφορίες που συνήθως δεν είναι διαθέσιμες.

Από τα μέσα του 1990 έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα στην Αυστραλία με σκοπό να παρέχουν προκαταρκτικά αποτελέσματα και απαντήσεις εξετάζοντας εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης ύδατος σε αστικές περιοχές.

Τα υπολογιστικά εργαλεία WaterCress (Clark et al., 2002) και Aquacycle (Mitchell et al., 1999 & 2001) ανήκουν στην κατηγορία των ημικατανεμημένων μοντέλων ημερήσιου χρονικού βήματος, (quasi-distributed daily time step models). Όσον αφορά στη χωρική κλίμακα με την οποία λειτουργούν αυτά τα δύο μοντέλα, το WaterCress διαιρεί την περιοχή σε επιμέρους τμήματα αναπαριστώμενα υπό τη μορφή κόμβων και τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω συνδέσμων που αντιπροσωπεύουν τις απορροές ή την ανταλλαγή παροχών νερού. Το Aquacycle, διαιρεί την εξεταζόμενη περιοχή σε επιμέρους συγκροτήματα (Clusters). Κάθε τέτοιο συγκρότημα επιμερίζεται περαιτέρω σε εκτάσεις που χαρακτηρίζονται ως διαπερατές ή μη λαμβάνοντας υπόψη την έκταση που καλύπτεται από αστική δόμηση/κατοικίες (Unit Blocks), από οδικό δίκτυο και από ανοικτές περιοχές (Open Spaces).

Το WaterCress αποδίδει στα ρεύματα νερού κωδικούς ποιότητας (1 έως 20) που σχετίζονται με την κατηγοριοποίηση του νερού σε κλάσεις σύμφωνα με τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά (συγκεντρώσεις αλατότητας) και εξετάζει τους δυνατούς τρόπους/συνδυασμούς με τους οποίους προσφέρεται το νερό προς μια χρήση η οποία αποτελεί για το μοντέλο έναν κόμβο ζήτησης. Το Aquacycle εστιάζει περισσότερο

στη διατύπωση του υδατικού ισοζυγίου, στη ζήτηση νερού και στη διαθεσιμότητα εναλλακτικών πηγών ύδατος όπως όμβρια ύδατα και υγρά απόβλητα σε επίπεδο οικίας (αποκεντρωμένη κλίμακα – Unit Block), συγκροτήματος οικιών (Cluster) και λεκάνης απορροής (Catchment).

Στις περιπτώσεις που το ενδιαφέρον εστιάζεται σε φαινόμενα που συμβαίνουν σε χρονική κλίμακα μικρότερη της ημερήσιας, αντιπροσωπευτικό μοντέλο είναι το PURRS. Η χρήση ενός τέτοιου μοντέλου καθίσταται αναγκαία στις περιπτώσεις π.χ. που εφαρμόζονται μέτρα εξοικονόμησης νερού μέσω επαναχρησιμοποίησης ομβρίων υδάτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα και είναι επιθυμητό να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις και οι μεταβολές στο σύστημα υποδομών μεταφοράς ομβρίων και πόσιμου νερού από το δίκτυο της περιοχής που εφαρμόζονται αυτές οι πρακτικές. Το PURRS βασίζεται σε χρονικό βήμα 6 λεπτών και προσομοιώνει την απόδοση των δεξαμενών συλλογής ομβρίων υδάτων, πρακτικών διήθησης, επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα (επίπεδο οικίας), και συγκροτήματος οικιών, (Kuczera and Coombes, 2002).

Οι Jia et al., ανέπτυξαν ένα μοντέλο ισοζυγίων νερού και ενέργειας χωρικής κατανομής (σε κλίμακα λεκάνης απορροής) και ωριαίου χρονικού βήματος που λαμβάνει υπόψη και την αστική χρήση γης. Το μοντέλο βροχόπτωσης – επιφανειακής απορροής του υδατικού κύκλου είναι αρκετά λεπτομερές ενώ τα ανθρωπογενή χαρακτηριστικά που αποτυπώνουν τον αστικό χαρακτήρα των περιοχών αποδίδονται μέσω τιμών που δίνει ο χρήστης.

Μια τυπική αναπαράσταση του αστικού υδατικού κύκλου λαμβάνει υπόψη της τόσο τα ανθρωπογενή όσο και τα φυσικά συστήματα σαν ξεχωριστές οντότητες. Μέσα σε αυτά τα συστήματα, οι εφαρμογές της μοντελοποίησης επικεντρώνονται στις παροχές και στα ρυπαντικά χαρακτηριστικά των ομβρίων υδάτων, του πόσιμου νερού και των υγρών αποβλήτων. Το UVQ ενώνει τα δύο αυτά υποσυστήματα σε ένα ενιαίο πλαίσιο θεώρησης και προάγει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του αστικού υδατικού συστήματος στα πλαίσια του συνολικού υδατικού κύκλου.

Το Aquacycle, που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, είναι ένα εργαλείο που μπορεί να προσφέρει απαντήσεις επάνω σε σενάρια που σχετίζονται με πρακτικές εξοικονόμησης υδατικών πόρων. Για την επίτευξη της ελαχιστοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στους υδάτινους αποδέκτες ενδείνεται το ενδιαφέρον προς εναλλακτικές μεθόδους προσφοράς νερού, διάθεσης υγρών αποβλήτων και διαχείρισης ομβρίων υδάτων. Το σημείο στο οποίο εστιάζουν οι εναλλακτικές μέθοδοι είναι η χρησιμοποίηση της επιφανειακής απορροής και των υγρών αποβλήτων για ωφέλιμους σκοπούς. Ενώ μέχρι τώρα υπάρχουν λίγα μοντέλα για να εκτιμήσουν την εφικτότητα αυτών των εναλλακτικών πρακτικών, το Aquacycle χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο για μια πιο ολοκληρωμένη θεώρηση καθώς παρέχει τη δυνατότητα πρότασης και μελέτης μέτρων εξοικονόμησης νερού σε αστικές περιοχές, συνδυάζοντας τα υποσυστήματα που συνιστούν τον αστικό υδατικό κύκλο.

Η δομή της εργασίας διαρθρώνεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναφορά στα επίπεδα διαχείρισης υδάτων σε μια αστική περιοχή. Επίσης πραγματοποιείται ανασκόπηση στις μεθόδους ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων στις αστικές περιοχές.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται το μεθοδολογικό πλαίσιο και η προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Αναφέρεται η

εννοιολογική αναπαράσταση που χρησιμοποιεί το υπολογιστικό εργαλείο Aquacycle για να περιγράψει τον αστικό υδατικό κύκλο και τα επιμέρους μοντέλα που περιγράφουν τις διεργασίες καθώς επίσης και η χωρική και χρονική κλίμακα προσομοίωσης που υποστηρίζει το μοντέλο.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια σύντομη περιγραφή του συστήματος υδάτων της υπό μελέτη περιοχής. Στη συνέχεια καταγράφονται όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης και περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκαν ή εκτιμήθηκαν.

Το κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και τα σενάρια εξοικονόμησης νερού. Με τη χρήση τριών ποσοτικών δεικτών αναδεικνύεται το πιο αποτελεσματικό σενάριο εξοικονόμησης από πλευράς μείωσης της χρήσης νερού ύδρευσης και παρατίθενται συμπεράσματα και παρατηρήσεις.

2 Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση νερού

2.1 Επίπεδα διαχείρισης αστικών υδάτων

Το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε αστικές περιοχές ενώ πριν από 35 χρόνια το ποσοστό αυτό αντιστοιχούσε στο 37%. Μέχρι το 2025 εκτιμάται ότι ο πληθυσμός στις αστικές περιοχές θα αυξηθεί κατά 25 δισεκατομμύρια φθάνοντας να αποτελεί το 60% του συνολικού πληθυσμού. Το 95% αυτής της αύξησης εκτιμάται ότι θα σημειωθεί στις αναπτυσσόμενες χώρες, (Rees J., 2006).

Ο υψηλός ρυθμός αστικοποίησης αποτελεί ένα καίριο ζήτημα για τον τρόπο διαχείρισης των υδατικών πόρων και τη λειτουργία των υδατικών συστημάτων στις αστικές περιοχές γεγονός που καθιστά απαραίτητη την αλλαγή του τρόπου θεώρησης ώστε να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες που θα παρουσιαστούν μέσα στον 21^ο αιώνα.

Τα ζητήματα που θα κληθούν να αντιμετωπίσουν οι αστικές περιοχές όσον αφορά στη διαχείριση των υδάτων πηγάζουν από μια σειρά φυσικών και κοινωνικών – οικονομικών παραγόντων. Η ανεπάρκεια σχεδιασμού σχετικά με τη χρήση των υδατικών πόρων επιταχύνει την εξάντληση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Η ποιότητα του νερού υποβαθμίζεται εξαιτίας της εκροής των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που η έλλειψη οργανωμένων υποδομών αποχέτευσης κάνει εντονότερο το φαινόμενο της ρύπανσης. Η υπεράντληση των υπόγειων πηγών υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού προκαλώντας αυξημένες συγκεντρώσεις σε άλατα, λιπάσματα και άλλες ρυπαντικές ουσίες. Στις αστικές περιοχές η ζήτηση του νερού σημειώνει συνεχείς ρυθμούς ανόδου που οφείλεται κατά βάση στην αύξηση του πληθυσμού, στη βιομηχανική ανάπτυξη και στην επέκταση των αρδευόμενων περιοχών στην περιφέρεια των αστικών περιοχών.

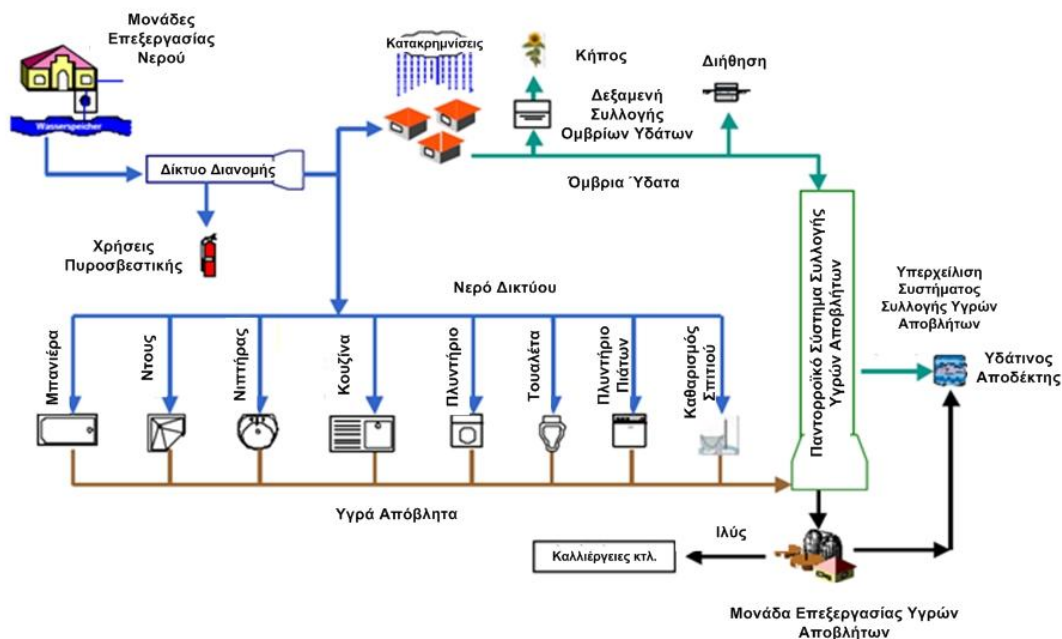
Οι μέθοδοι διαχείρισης που θα πρέπει να εφαρμοστούν ώστε να αντιμετωπιστούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις αποτελούν μέρος ενός μεγαλύτερου εύρους λύσεων και προτάσεων. Η βέλτιστη απόφαση πρέπει να λαμβάνεται με κριτήρια κόστους – αποτελεσματικότητας ή κοινωνικού οφέλους και σύμφωνα πάντα με το είδος του προβλήματος. Είναι προφανές ότι η διαχείριση των αστικών υδάτων βρίσκει εφαρμογή σε διαφορετικά επίπεδα (εθνικό, λεκάνης απορροής, τοπικό, επίπεδο νοικοκυριού). Για παράδειγμα η αντιμετώπιση πλημμυρών αφορά τη λήψη μέτρων σε ευρύτερη κλίμακα (αστική κλίμακα) και προϋποθέτει τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την κατασκευή υποδομών (κανάλια υπερχείλισης), τη χρήση γης, την προστασία των ιδιοκτησιών ή και την αποκατάσταση των εκτάσεων. Αντιθέτως, όταν το ζήτημα αφορά στη διαχείριση της προσφοράς του νερού σε μια πόλη τότε το εύρος των επιλογών εντάσσεται σε μικρότερη κλίμακα, όπου μπορούν να τεθούν σε εφαρμογή μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων στην οικιακή χρήση (εναλλακτικές πηγές νερού), (White, 1942; May et al., 1996).

Στη συνέχεια παρατίθενται μορφές συστημάτων διαχείρισης νερού σε αστικές περιοχές.

2.1.1 Διαχείριση σε αστική κλίμακα

Μεταξύ των πιο συνηθισμένων μεθόδων επαναχρησιμοποίησης νερού σε αστική κλίμακα είναι η χρήση ελάχιστα επεξεργασμένου νερού (σε επίπεδο ακίνδυνο για τη δημόσια υγεία) για μια σειρά αναγκών που δεν απαιτούν ποιότητα ισοδύναμη με αυτή του πόσιμου όπως είναι οι βιομηχανικές χρήσεις, η τουαλέτα, η καθαριότητα των δρόμων, η άρδευση πράσινων περιοχών σε δημόσιους χώρους, χώροι αναψυχής κτλ. Η πρακτική αυτή δεν συνεισφέρει μόνο στην εξοικονόμηση νερού αλλά και στην ελάττωση της άντλησης νέων ποσοτήτων από τις πηγές γεγονός που συνεπάγεται τη μείωση του κόστους επεξεργασίας του πόσιμου νερού.

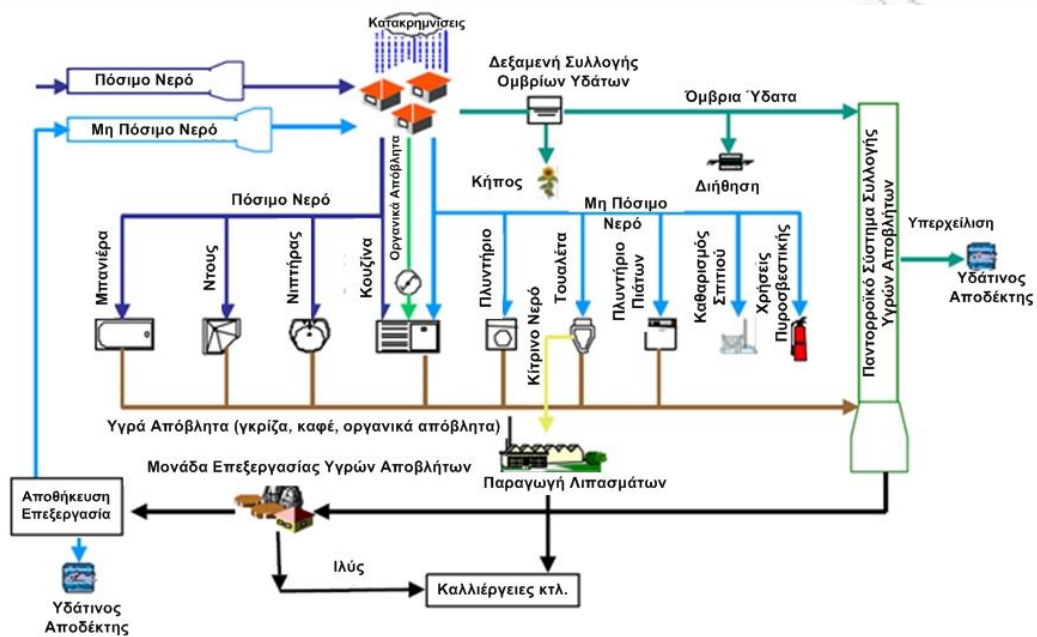
Παράδειγμα ενός συστήματος διαχείρισης σε αστική κλίμακα είναι αυτό που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1. Κύρια χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος διαχείρισης που αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία των υφιστάμενων συστημάτων είναι η ύπαρξη παντοροϊκού συστήματος αγωγών συλλογής των υγρών αποβλήτων και των ομβρίων υδάτων και η ύπαρξη μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που συγκεντρώνει τις παροχές εξόδου από τον οικισμό. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται κατά βάση από συγκεντρωτικές δομές διαχείρισης και δεν έχει ενσωματώσει πρακτικές ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης, (Hiessl et al. 2003).



Εικόνα 1 Παράδειγμα διαχείρισης υδάτων σε αστική κλίμακα με κύριο χαρακτηριστικό τις συγκεντρωτικές δομές

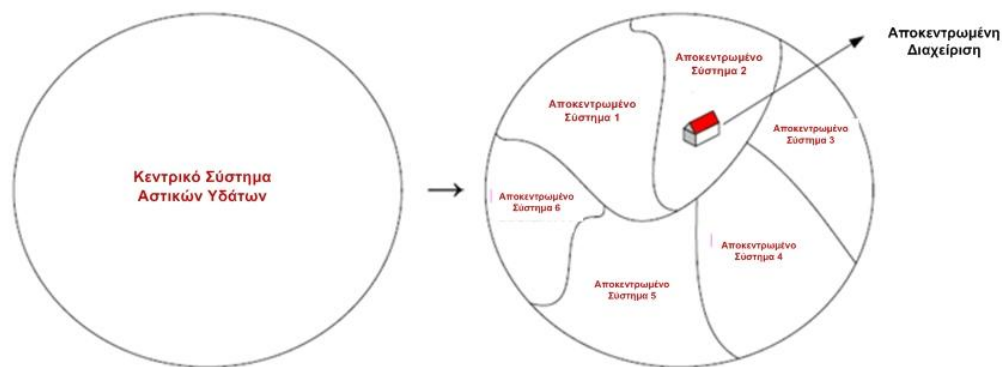
Ο τύπος του συστήματος που περιγράφει η Εικόνα 2 χαρακτηρίζεται από το διαχωρισμό των παροχών νερού διαφορετικής ποιότητας, όπως είναι τα ομβρία ύδατα και τα υγρά απόβλητα. Πιο συγκεκριμένα η παροχή των υγρών αποβλήτων υφίσταται επεξεργασία και απολύμανση στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας ώστε να φτάσει σε υψηλά επίπεδα ποιότητας. Η επεξεργασμένη παροχή που εξέρχεται από τη μονάδα επεξεργασίας δεν καταλήγει σε έναν υδάτινο αποδέκτη αλλά οδηγείται για την

κάλυψη αναγκών που δεν απαιτούν ποιότητα ισοδύναμη με εκείνη του πόσιμου νερού.



Εικόνα 2 Παράδειγμα συστήματος με χαρακτηριστικό την επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστική κλίμακα

Είναι γεγονός ότι ο τρόπος με τον οποίο έχουν σχεδιαστεί τα σημερινά συστήματα και οι υποδομές ύδρευσης και αποχέτευσης που εξυπηρετούν τις αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται για την παλαιότητά τους και για την ταχύτατη κατασκευή τους η οποία είχε στόχο να εξυπηρετήσει την ταχύτατη αύξηση του πληθυσμού και των αναγκών και ταυτόχρονα να διαφυλάξει τα επίπεδα της δημόσιας υγείας αποτρέποντας κατά το δυνατό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από συγκεντρωτικές δομές και έχουν χαρακτήρα «ανοιχτού βρόχου» δηλαδή χρήση νερού και τελική απορροή σε υδάτινους αποδέκτες χωρίς καμιά έννοια επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης. Το ερώτημα που τίθεται είναι αν πρέπει να αναθεωρηθεί αυτός ο τρόπος διαχείρισης, ώστε να αντιμετωπιστούν οι νέες απαιτήσεις μεταβαίνοντας από τις κεντρικές δομές σε μικρά, ευέλικτα και οικονομικά αποδεκτά σχήματα εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα, Εικόνα 3.



Εικόνα 3 Μετάβαση από συγκεντρωτικές σε αποκεντρωμένες δομές, (Sharma A. and Burn S., 2008)

2.1.2 Διαχείριση σε αποκεντρωμένη κλίμακα και χρήση νερού διαβαθμισμένης ποιότητας

Η βασική αρχή λειτουργίας των αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης είναι η χρήση νερού διαφόρων επιπέδων ποιότητας νερού όπως είναι το «μαύρο νερό» και το «γκρίζο νερό».

Οι πρακτικές χρήσης του νερού σύμφωνα με την ποιότητά του λαμβάνουν υπόψη όλες τις διαθέσιμες παροχές νερού και αντιστοιχίζουν τις ανάγκες ανάλογα με το επίπεδο ποιότητας που αυτές απαιτούν. Για παράδειγμα, για μια δεδομένη ποσότητα νερού που απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες ενός νοικοκυριού αντί για τη χρήση νερού της μεγαλύτερης ποιότητας (που είναι το νερό ύδρευσης) μπορεί να χρησιμοποιηθούν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για χρήσεις όπως είναι η τουαλέτα ή η άρδευση των κήπων. Οι πρακτικές αυτές είναι δυνατό να ελαττώσουν τη ζήτηση του πόσιμου νερού από το δίκτυο ύδρευσης, όσο και την παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων που καταλήγουν στο σύστημα αποχέτευσης, (White and Turner, 2003).

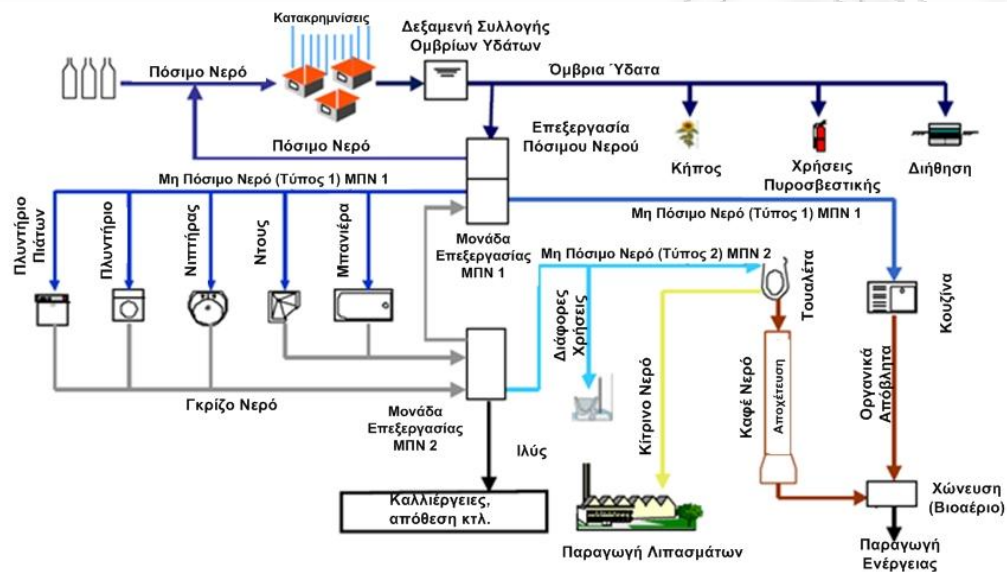
Η εξοικονόμηση νερού σε επίπεδο νοικοκυριού εξετάζει πρακτικές όπως η εγκατάσταση αποθηκευτικών δεξαμενών συλλογής υγρών αποβλήτων για περαιτέρω επεξεργασία, η χρήση δεξαμενών συλλογής ομβρίων υδάτων ή συστήματα επαναχρησιμοποίησης νερού χαμηλής ποιότητας για υπόγεια άρδευση των πράσινων περιοχών. Ειδικότερα, το νερό αφού χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη εσωτερικών αναγκών του νοικοκυριού όπως είναι η κουζίνα ή το πλύσιμο στη συνέχεια επαναχρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες ζήτησης σε νερό σε χρήσεις όπως η τουαλέτα ή η άρδευση του κήπου.

Σχετικά με την αποκεντρωμένη κλίμακα διαχείρισης που αφορά σε βιομηχανικές μονάδες η επαναχρησιμοποίηση του νερού εφαρμόζεται ήδη στις αναπτυγμένες χώρες και συμβάλει στη μείωση του κόστους από την κατανάλωση του νερού δικτύου ύδρευσης και στην επίτευξη των ορίων απορροής που θέτουν οι σχετικοί περιβαλλοντικοί κανονισμοί.

Τα συστήματα ανακύκλωσης νερού που χαρακτηρίζονται και ως «συστήματα κλειστού βρόχου» ή συστήματα διαδοχικής χρήσης νερού είναι βέβαιο πως απαιτούν επενδύσεις οι οποίες αποδεικνύεται από την εμπειρία ότι είναι οικονομικά

συμφέρουσες όσο πιο νωρίς τεθούν σε εφαρμογή (δηλαδή κατά το στάδιο κατασκευής της βιομηχανικής μονάδας ή σε στάδια επανασχεδιασμού και αναβάθμισής της).

Το παράδειγμα του συστήματος που περιγράφεται στην Εικόνα 4 διαφέρει αρκετά από τα χαρακτηριστικά των συγκεντρωτικών δομών και βασίζεται στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αποδέσμευση από κεντρικά συστήματα ύδρευσης και συλλογής υγρών αποβλήτων. Οι ανάγκες καλύπτονται μέσα από διεργασίες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης που εφαρμόζονται σε αποκεντρωμένη κλίμακα, (R.E. de Graaf and F.H.M. van de Ven, 2005).



Εικόνα 4 Παράδειγμα συστήματος με βασικό χαρακτηριστικό την ανακύκλωση νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα

2.2 Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων σε αστικές περιοχές

Η επαναχρησιμοποίηση του νερού που προέρχεται από πηγές όπως είναι τα όμβρια ύδατα και τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα προσδίδει μια σειρά από περιβαλλοντικά οφέλη στις περιοχές όπου βρίσκουν εφαρμογή τέτοιου είδους πρακτικές. Αποτελεί μια ιδιαίτερα ελκυστική προοπτική σε περιοχές με ξηρό κλίμα, περιοχές που αντιμετωπίζουν συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση σε νερό και περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων.

Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι το ανακυκλωμένο υγρό απόβλητο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια αξιόπιστη πηγή νερού καθώς η επεξεργασία που έχει δεχθεί καθιστά την ποιότητά του προβλέψιμη και μέσα σε αποδεκτά επίπεδα. Με την κατάλληλη επεξεργασία, τα υγρά απόβλητα είναι δυνατό να καλύψουν πολλές ανάγκες-χρήσεις όπως είναι το νερό για ψύξη, εσωτερικές ανάγκες των νοικοκυριών και άλλες παρόμοιες εφαρμογές.

Ένα ακόμα όφελος της επαναχρησιμοποίησης είναι η μείωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης και της ανάγκης για επεξεργασία του πόσιμου νερού κάτι που συνεπάγεται αντίστοιχα οικονομικά οφέλη. Σε πολλές εφαρμογές, η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων μπορεί να αποδειχθεί περισσότερο ωφέλιμη οικονομικά λύση σε σύγκριση τη χρήση νερού ύδρευσης. Αποτέλεσμα της πρακτικής αυτής είναι η πιο αποδοτική κατανάλωση νερού και η μειωμένη παροχή των παραγόμενων υγρών αποβλήτων που τελικά θα διατεθούν προς επεξεργασία, ενώ μειώνεται και η απαίτηση σε κατασκευή συγκεντρωτικών υποδομών μεγάλης κλίμακας, (UNEP, 2005).

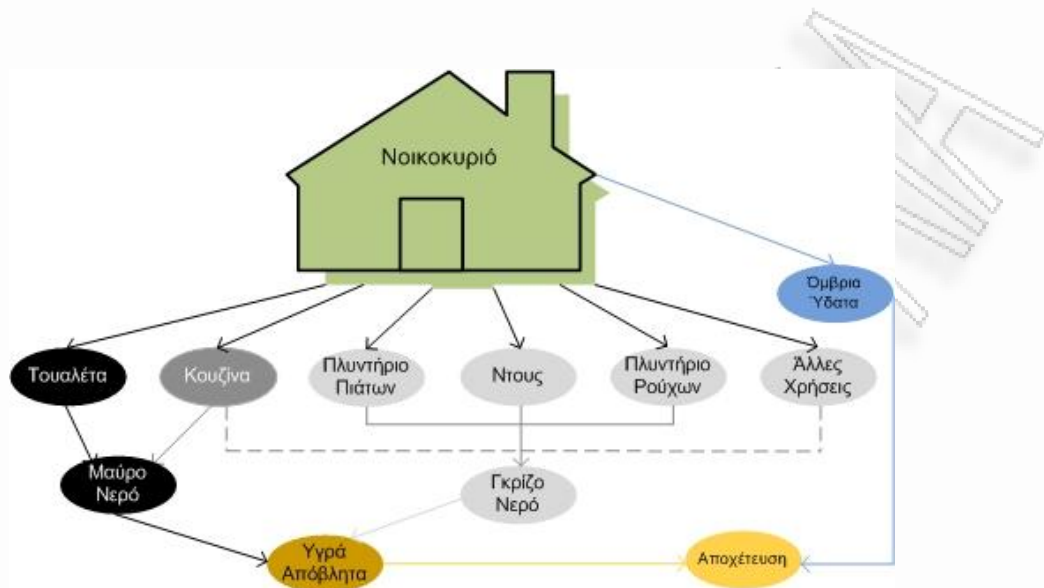
Σε αστικές περιοχές, η αναγκαιότητα εφαρμογής πρακτικών επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι αρκετά υψηλή και τα μέτρα επαναχρησιμοποίησης μπορούν να συμβάλλουν στον έλεγχο της κατανάλωσης του νερού και στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου του οποίου τελικός αποδέκτης είναι το περιβάλλον. Ένα μεγάλο ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται στις αστικές δραστηριότητες δεν απαιτεί ποιότητα ανάλογη με αυτή του πόσιμου νερού. Διπλά συστήματα παροχής (ένα για πόσιμο νερό και ένα για το επαναχρησιμοποιούμενο νερό – reclaimed water) έχουν βρει εφαρμογή σε διάφορες χώρες, κυρίως σε πόλεις υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας αναπτυγμένων χωρών. Το σύστημα αυτό καθιστά το επεξεργασμένο νερό χρήσιμο για διάφορες αστικές δραστηριότητες ως μια εναλλακτική πηγή νερού στην περιοχή και συνεισφέρει στην ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων της περιοχής, (UNEP, 2005).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η δευτεροβάθμια επεξεργασία του νερού ακολουθούμενη από διήθηση και απολύμανση, χρησιμοποιείται για μη πόσιμες ανάγκες όπως στις τουαλέτες δημόσιων κτηρίων, πλύσιμο αυτοκινήτων, άρδευση κήπων και ανοικτών δημόσιων χώρων και πυρόσβεση.

2.2.1 Εναλλακτικές πηγές νερού σε επίπεδο οικιακής μονάδας

Το νερό που χρησιμοποιείται στον οικιακό τομέα μετά τη χρήση του εξέρχεται υπό μορφή υγρών αποβλήτων που είναι δυνατό να απομακρυνθούν μέσω αγωγών συλλογής και να καταλήξουν σε μια συμβατική μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Εναλλακτικά μπορούν να συλλεχθούν, να επεξεργαστούν και να

επαναχρησιμοποιηθούν σε αποκεντρωμένη κλίμακα προωθώντας έτσι την πιο αποδοτική χρήση του νερού και προσφέροντας πολλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.



Εικόνα 5 Τύποι οικιακών υγρών αποβλήτων

Τα οικιακά υγρά απόβλητα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση από την οποία προέρχονται, (Εικόνα 5):

- «Μαύρο νερό» (Black Water) – Είναι τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από την τουαλέτα και συνήθως συλλέγονται μέσω του συστήματος συλλογής των αστικών περιοχών για να καταλήξουν σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας.
- «Γκρίζο νερό» (Gray Water) – Είναι τα απόβλητα που προέρχονται από τις υπόλοιπες οικιακές χρήσεις (λουτρό, πλυντήριο, κουζίνα κτλ.).

Ένα τυπικό νοικοκυριό παράγει κατά κεφαλήν περίπου 35 L «μαύρο νερό», και 105 L «γκρίζο νερό» ημερησίως. Η εγκατάσταση μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και τεχνικών επαναχρησιμοποίησης σε αποκεντρωμένη κλίμακα εξαρτάται από την ποιότητα των αποβλήτων. Το «γκρίζο νερό» αποτελεί περίπου το 65% του όγκου των οικιακών αποβλήτων και συνεισφέρει στο 70% του φωσφόρου (P) και στο 63% του BOD (Βιολογικά Διασπώμενο Οξυγόνο) του συνολικού όγκου των οικιακών υγρών αποβλήτων, (Water Sensitive Urban Design in the Sydney Region).

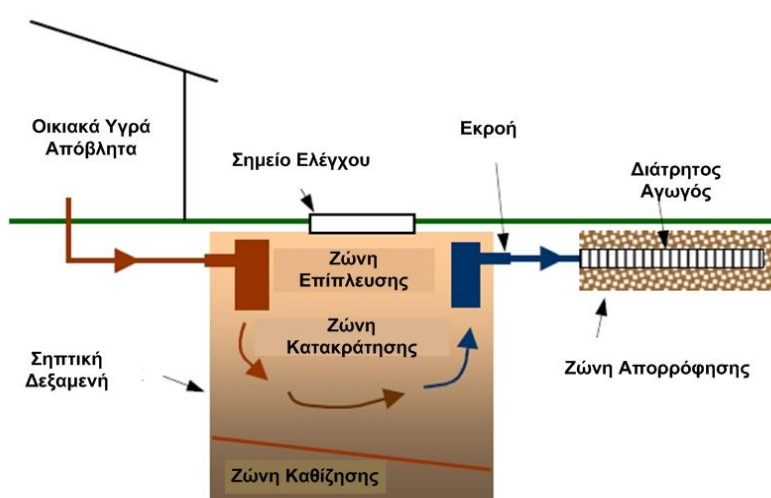
Το «μαύρο νερό» αποτελείται από υγρά απόβλητα με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου, οργανικής ύλης και παθογόνων μικροοργανισμών. Συντελεί στο 35% του όγκου των οικιακών αποβλήτων και είναι υπεύθυνο για το 61% των αιωρούμενων σωματιδίων, το 82% του αζώτου και το 37% του BOD του συνολικού όγκου των οικιακών υγρών αποβλήτων, (Water Sensitive Urban Design in the Sydney Region).

2.2.2 Μέθοδοι ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Η αποκεντρωμένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει συνήθως μεθόδους όπως οι σηπτικές δεξαμενές, τα συστήματα με αερισμό και τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης «γκρίζου νερού», (Water Sensitive Urban Design in the Sydney Region).

Σηπτικές δεξαμενές

Το συμβατικό σύστημα μια σηπτικής δεξαμενής περιλαμβάνει την υπόγεια εγκατάσταση δεξαμενής και ένα σύστημα που συνεισφέρει στην απορρόφηση του ρεύματος εκροής από τη δεξαμενή, (Εικόνα 6).



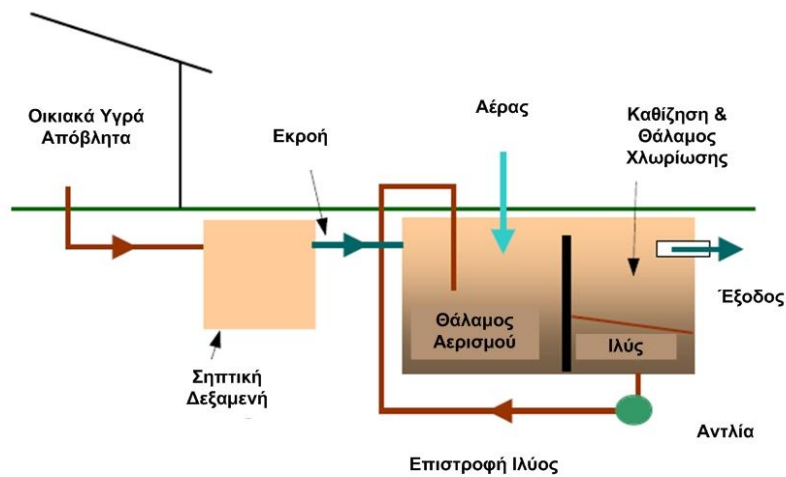
Εικόνα 6 Σύστημα με σηπτική δεξαμενή

Τα υγρά απόβλητα επεξεργάζονται μερικώς στις σηπτικές δεξαμενές μέσω αναερόβιων διεργασιών. Η μέθοδος αυτή απομακρύνει περίπου το 30% του φωσφόρου, 20% του αζώτου, 60% των αιωρούμενων σωματιδίων, 50% του BOD ελαττώνοντας ταυτόχρονα τη συγκέντρωση βιολογικών ρυπαντικών ουσιών. Η ποσότητα που εκρέει στη συνέχεια διηθείται στο υπέδαφος όπου υπόκειται σε περαιτέρω απομάκρυνση ρυπαντικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς του εδάφους πριν καταλήξουν σε επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα.

Συστήματα με αερισμό

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφόρων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με σύστημα αερισμού που χρησιμοποιούνται σε πρακτικές αποκεντρωμένης διαχείρισης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Αυτά τα συστήματα είναι βασισμένα σε τεχνικές μηχανικής ανάμειξης, αερισμού και άντλησης των υγρών αποβλήτων, υποκείμενα σε επιταχυνόμενη αερόβια και αναερόβια αποσύνθεση χρησιμοποιώντας μία ή δύο δεξαμενές.

Η ποιότητα των αποβλήτων που εξέρχονται από το σύστημα πρέπει να ακολουθεί τα όρια ποιότητας που επιβάλει η νομοθεσία κάθε χώρας. Η μέθοδος αυτή παρέχει επαναχρησιμοποιούμενο νερό για επιφανειακή ή υπόγεια άρδευση, (Εικόνα 7).

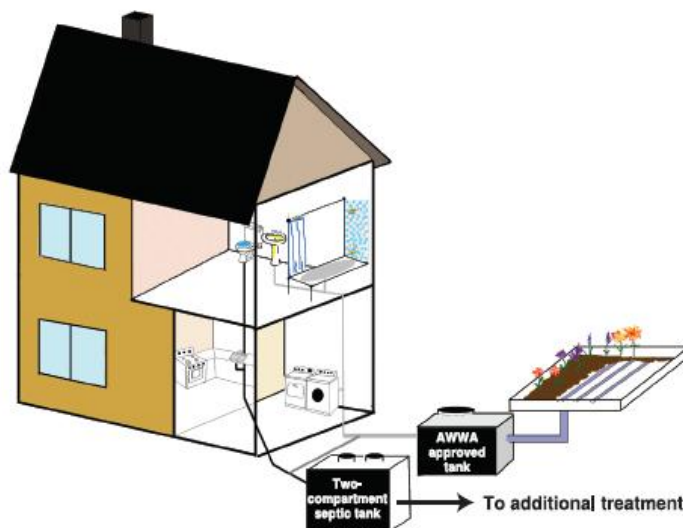


Εικόνα 7 Σύστημα με αερισμό

Σύστημα επαναχρησιμοποίησης «γκρίζου νερού»

Πριν επαναχρησιμοποιηθεί το «γκρίζο νερό» πρέπει πρώτα να διαχωριστεί από το «μαύρο νερό». Αυτός ο διαχωρισμός μπορεί να γίνεται τόσο για τα νοικοκυριά που διαθέτουν αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας σε οικιακό επίπεδο όσο και για εκείνα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά αποχετευτικά δίκτυα.

Το σύστημα διαχωρισμού του «μαύρου νερού» από το «γκρίζο νερό» τοποθετείται στο σπίτι και οδηγεί τα δύο ρεύματα σε ξεχωριστά συστήματα αγωγών συλλογής και διανομής, (Εικόνα 8). Τα λύματα της τουαλέτας (μαύρο νερό) οδηγούνται προς ένα αυτόνομο σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το «γκρίζο νερό» οδηγείται προς χρήσεις όπως η υπεδάφια άρδευση κήπων και πράσινων χώρων ή μπορεί πρώτα να οδηγηθεί προς πρώτα προς ένα σύστημα προ-επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, (Lesikar B., et al.).

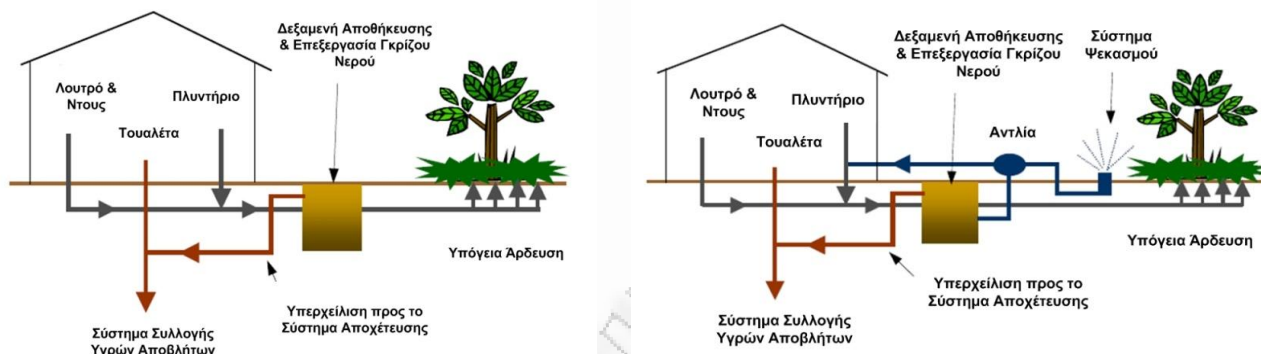


Εικόνα 8 Σύστημα διαχωρισμού παροχών

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων επαναχρησιμοποίησης του «γκρίζου νερού»: τα πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια (Εικόνα 9).

Σε ένα πρωτοβάθμιο σύστημα, το «γκρίζο νερό» συλλέγεται και διανέμεται για χρήση σε υπόγεια άρδευση με φυσική ροή λόγω της βαρύτητας ή μέσω αντλίας.

Τα δευτεροβάθμια συστήματα περιλαμβάνουν μια δεξαμενή αποθήκευσης όπου πραγματοποιείται προ-επεξεργασία των εισερχόμενων παροχών των υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή είναι δυνατό να παρέχει νερό κατάλληλο για χρήσεις στην τουαλέτα και την άρδευση μέσω αντλίας.



Εικόνα 9 Πρωτοβάθμιο και δευτεροβάθμιο σύστημα επαναχρησιμοποίησης "γκρίζου νερού"

Η παραγόμενη ποσότητα του «γκρίζου νερού» εξαρτάται από τη δυναμικότητα του νοικοκυριού και τον τρόπο των καταναλωτικών τους συνηθειών. Η ποσότητα που παράγεται ποικίλει από περιοχή σε περιοχή και αποτελεί σημαντική παράμετρο σχεδιασμού για ένα τέτοιο σύστημα.

Δεξαμενές συλλογής ομβρίων υδάτων

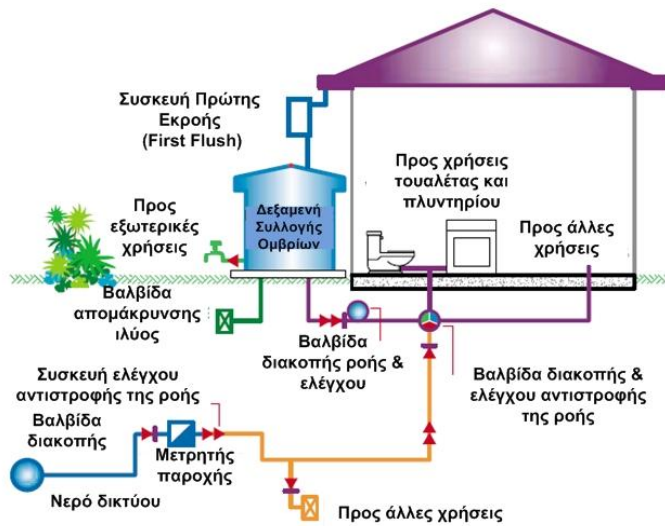
Μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών τεχνολογιών που συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση του νερού, η συλλογή ομβρίων υδάτων και η χρήση τους σε αποκεντρωμένη κλίμακα αποτελεί μια περιβαλλοντική φιλική λύση η οποία συμβάλει στην αντιμετώπιση πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από της μεγάλης κλίμακας σχέδια διαχείρισης και τις συγκεντρωτικές δομές.

Οι μέθοδοι χρήσης ομβρίων υδάτων περιλαμβάνουν τη συλλογή και αποθήκευση ομβρίων υδάτων που προέρχονται από αδιαπέρατες επιφάνειες όπως είναι οι στέγες των κτηρίων. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή πάνω από 4.000 χρόνια και αποτελεί σημαντική πηγή νερού σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις και οι οποίες δε διαθέτουν υποδομές σε συστήματα ύδρευσης, συλλογής και απομάκρυνσης υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων.

Στα οφέλη από τη συλλογή ομβρίων υδάτων περιλαμβάνονται, (Rainwater Harvesting And Utilisation):

- Η μέθοδος συλλογής ομβρίων αποτελεί μια εναλλακτική πηγή νερού μειώνοντας την επιβάρυνση των υδατικών πόρων.
- Μειώνει τις παροχές της απορροής ομβρίων υδάτων από μια περιοχή και τον κίνδυνο πλημμυρών.

- Η διαχείριση του νερού μεταφέρεται σε αποκεντρωμένη κλίμακα καθιστώντας τα νοικοκυριά ως βασικές μονάδες εξοικονόμησης νερού.
- Η τεχνολογία συλλογής ομβρίων είναι ευέλικτη όσον αφορά στην κατασκευή, τη συντήρηση και τον τρόπο λειτουργίας τους.

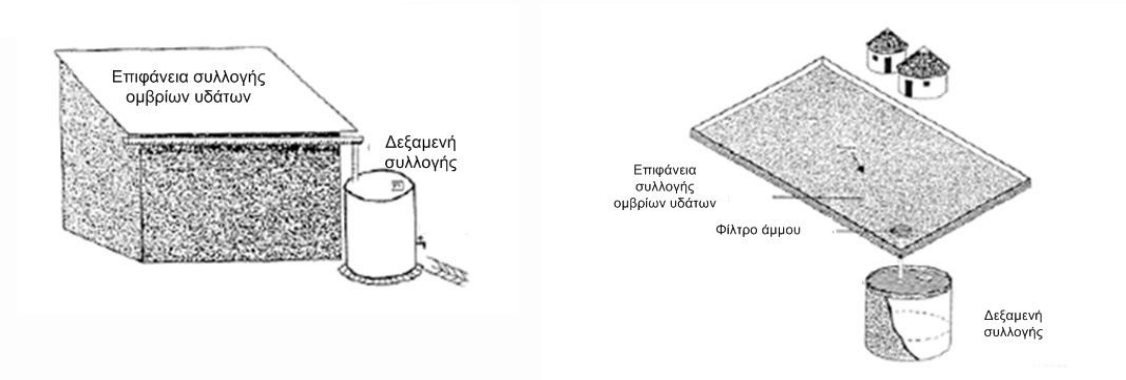


Εικόνα 10 Σύστημα συλλογής ομβρίων σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Γενικά, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων αποτελείται από τρία βασικά μέρη: Το σύστημα συλλογής, το σύστημα μεταφοράς (σωληνώσεις) και το σύστημα αποθήκευσης, (Εικόνα 10), (Sydney Water).

Τα συστήματα συλλογής διαφέρουν ανάλογα με την κλίμακα στην οποία εφαρμόζονται.

Διακρίνονται σε απλά συστήματα που συλλέγουν την απορροή των ομβρίων υδάτων από τις στέγες των κτηρίων μέσω σωληνώσεων, το μεταφέρουν σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, όπου είτε χρησιμοποιείται απευθείας ή περνά από διεργασίες διήθησης. Άλλος τρόπος συλλογής είναι σε ευρύτερη κλίμακα δηλαδή σε επίπεδο αστικού συγκροτήματος όπου το νερό συλλέγεται σε υπόγειες ή επιφανειακές δεξαμενές. Η μέθοδος αυτή σε σύγκριση με την αποκεντρωμένη, οδηγεί στη συλλογή μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού αφού καταλήγει η απορροή μεγαλύτερων επιφανειών, (Εικόνα 11).

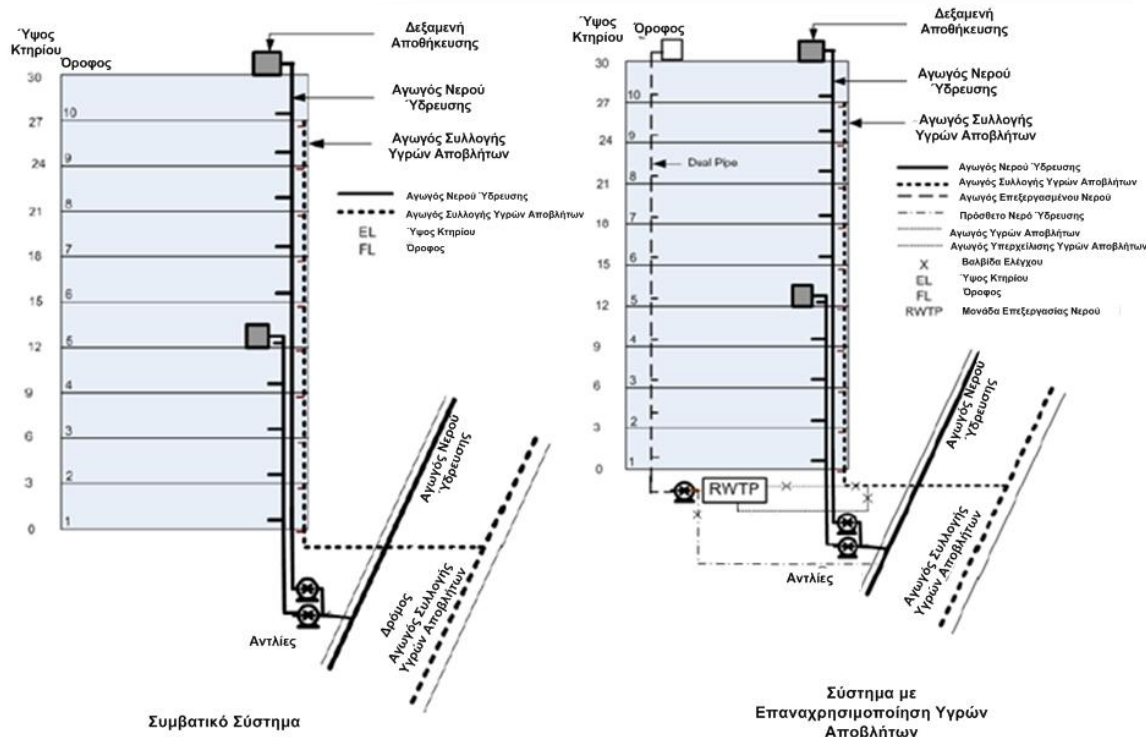


Εικόνα 11 Παραδείγματα συλλογής ομβρίων υδάτων

2.2.3 Συστήματα ανακύκλωσης – επαναχρησιμοποίησης σε κτήρια αστικού τύπου

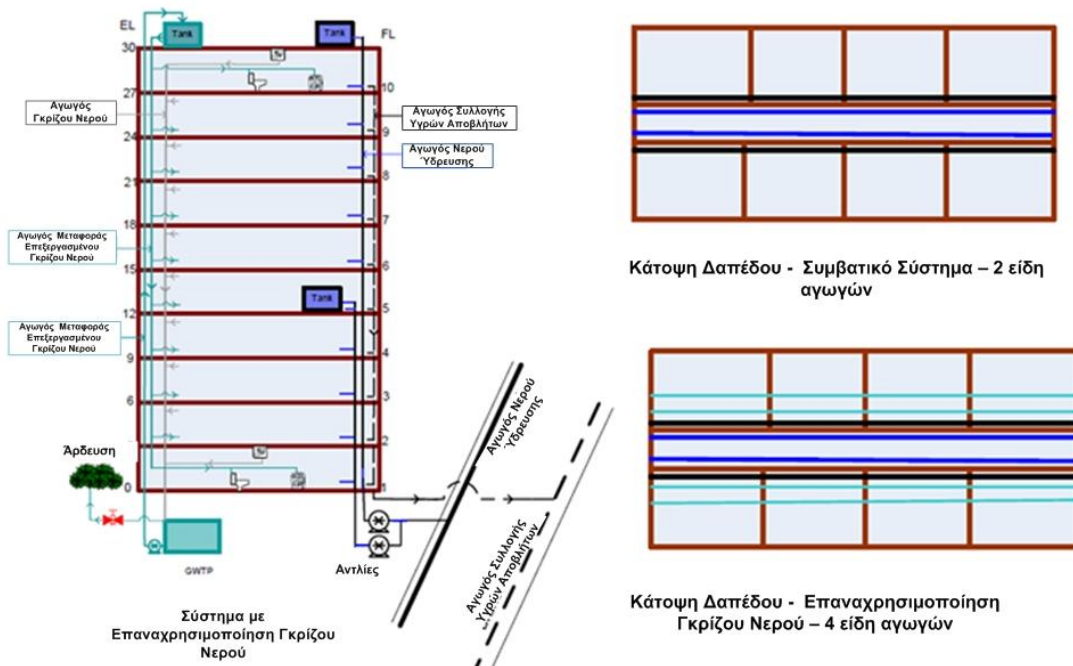
Στις αστικές περιοχές, όπου η δόμηση χαρακτηρίζεται κυρίως από πολυώροφα κτήρια, η εφαρμογή των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, του «γκρίζου νερού» και η ανακύκλωση των ομβρίων υδάτων αποτελεί μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία καθώς οι υποδομές που υποστηρίζουν τις μεθόδους αυτές είναι αρκετά σύνθετες.

Ένα κτήριο που εξυπηρετείται με συμβατικό σύστημα ύδρευσης – αποχέτευσης διαθέτει αγωγούς ύδρευσης για τις ανάγκες πόσιμου νερού και αγωγούς μέσω των οποίων τα υγρά απόβλητα συλλέγονται και κατευθύνονται προς το σύστημα αποχέτευσης της περιοχής. Στα συστήματα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υπάρχουν επιπλέον οι αγωγοί που συλλέγουν τα υγρά απόβλητα και τα οδηγούν προς τη μονάδα επεξεργασίας που είναι εγκατεστημένη στο κτήριο και τα επανατροφοδοτούν προς τις οικιακές χρήσεις (εσωτερικές και εξωτερικές), (Εικόνα 12), (Sharma A. and Burn S., 2008).



Εικόνα 12 Συμβατικό Σύστημα και Σύστημα με Επαναχρησιμοποίηση Υγρών Αποβλήτων

Ανάλογο βαθμό πολυπλοκότητας παρουσιάζει και η εφαρμογή χρήσης «γκρίζου νερού», (Εικόνα 13). Το «γκρίζο νερό» συλλέγεται μέσω δικτύου αγωγών που καταλήγουν σε μονάδα επεξεργασίας. Στη συνέχεια το επεξεργασμένο νερό προωθείται ξανά προς διάφορες χρήσεις (εξωτερικές ή εσωτερικές) όπως είναι η άρδευση των πράσινων χώρων του κτηρίου και η τουαλέτα, αντίστοιχα, (Sharma A. and Burn S., 2008).



Εικόνα 13 Σύστημα Επαναχρησιμοποίησης «γκρίζου νερού» και είδη αγωγών

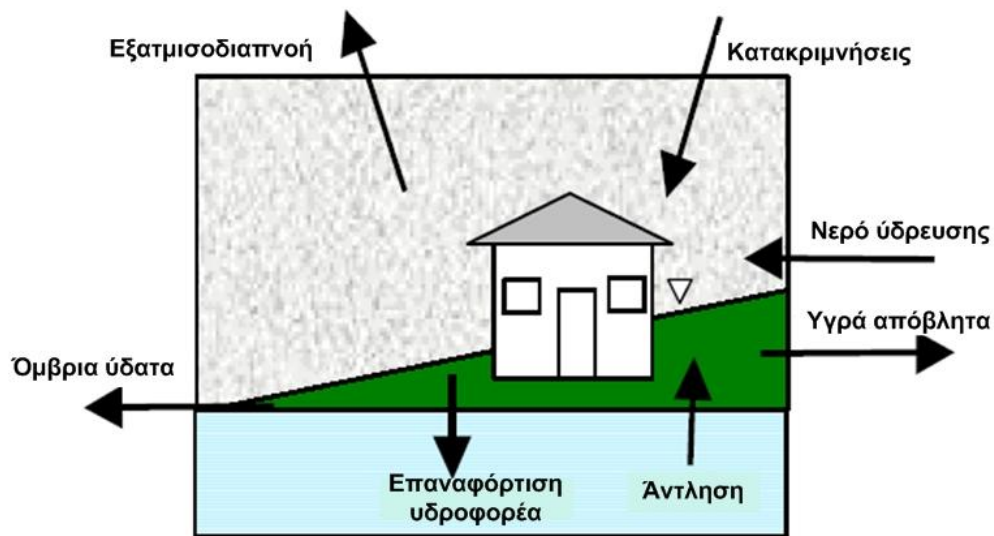
3 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

3.1 Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου σε αστικές περιοχές

Η έννοια του υδατικού κύκλου έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει και να αναπαραστήσει τη συνεχή κίνηση του νερού στο περιβάλλον, (Asano, 2006). Ο αστικός υδατικός κύκλος αποτελείται από τα συστήματα προσφοράς πόσιμου νερού, απομάκρυνσης υγρών αποβλήτων και απορροής ομβρίων υδάτων, τα οποία στο σύνολό τους συνιστούν ένα σύστημα αστικών υδάτων. Ωστόσο πολλές προσεγγίσεις που αφορούν στα επιμέρους συστήματα, (Newall et al., 1998) δεν επιτυγχάνουν μια ενιαία θεώρηση του συστήματος και δεν καθιστούν σαφή την αλληλεξάρτηση ανάμεσα στα δίκτυα ύδρευσης και τα συστήματα απομάκρυνσης υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων μιας περιοχής.

Η προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου (δηλαδή η κατάστρωση του ισοζυγίου μάζας του νερού) αποτυπώνει μια ολοκληρωμένη εικόνα για τη ζήτηση του νερού σε μια περιοχή και την παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων. Συγχρόνως, αποτελεί και ένα χρήσιμο εργαλείο για την προώθηση μεθόδων επαναχρησιμοποίησης ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων. Με την ποσοτικοποίηση των παραμέτρων που περιγράφουν το υπό μελέτη σύστημα μέσω του υδατικού ισοζυγίου διατυπώνονται με ευκρίνεια οι διεργασίες του υδατικού κύκλου γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση των εισροών και των εκροών του νερού από μια περιοχή και σε συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα των μεθόδων εναλλακτικών πηγών νερού.

Ένα υδατικό ισοζύγιο είναι η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της μάζας του νερού μέσα σε μια περιοχή, τα όρια της οποίας έχουν προσδιοριστεί σύμφωνα με τις ανάγκες της μελέτης που πρόκειται να πραγματοποιηθεί. Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει την κίνηση και την πορεία του νερού στον υδατικό κύκλο για μια δεδομένη περιοχή και για ένα επιλεγμένο χρονικό βήμα, (Mitchell C. et al., 2002). Για τη διατύπωση ενός υδατικού ισοζυγίου μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες μέθοδοι, απλούστερες ή περισσότερο σύνθετες. Αυτές μπορεί να είναι απλές εκτιμήσεις εισροών και εκροών στο σύστημα και να καταλήγουν μέχρι και σε πολύπλοκες μεθόδους μοντελοποίησης όλων των διεργασιών που συμμετέχουν και προσομοιώνουν τον αστικό υδατικό κύκλο, μετατρέποντας τις παροχές εισροών σε εκροές του υδατικού ισοζυγίου, (Εικόνα 14).



Εικόνα 14 Υδατικό ισοζύγιο σε αστική περιοχή

Η βασική εξίσωση που εκφράζει το υδατικό ισοζύγιο μιας περιοχής της οποίας έχουν οριστεί τα όρια μελέτης, για ένα δεδομένα χρονικό διάστημα Δt και εκφρασμένο σε μονάδες ύψους νερού (mm), διατυπώνεται ως εξής:

$$\Sigma_{\text{inputs}} = \Sigma_{\text{outputs}} + \Delta S_{\text{storage}} \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) περιγράφει ότι το άθροισμα των ρευμάτων εισόδου (Σ_{inputs}) ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων που εξέρχονται από το σύστημα (Σ_{outputs}) και την ποσότητα μεταβολής στον αποθηκευμένο όγκο ($\Delta S_{\text{storage}}$)

Μια πιο αναλυτική μορφή της εξίσωσης είναι:

$$P + I = E_a + R_s + R_w + \Delta S \quad (2)$$

Όπου P (Precipitation) είναι οι κατακρημνίσεις, I (Imported Water) το νερό του δικτύου ύδρευσης, E_a (Actual Evapotranspiration) η ενεργός εξατμισοδιαπνοή, R_s είναι η επιφανειακή απορροή ομβρίων υδάτων, R_w η παραγωγή υγρών αποβλήτων και ΔS η μεταβολή στον αποθηκευμένο όγκο. Το χρονικό βήμα κάθε ισοζυγίου είναι δυνατό να διαφέρει ανάλογα με τις απαντήσεις που είναι επιθυμητό να προκύψουν και μπορεί να κυμαίνεται από μερικά έτη έως ημέρες ή ώρες ή κάτι που είναι άμεσα εξαρτημένο από διαθεσιμότητα σε δεδομένα.

3.2 Μέθοδος υπολογισμών

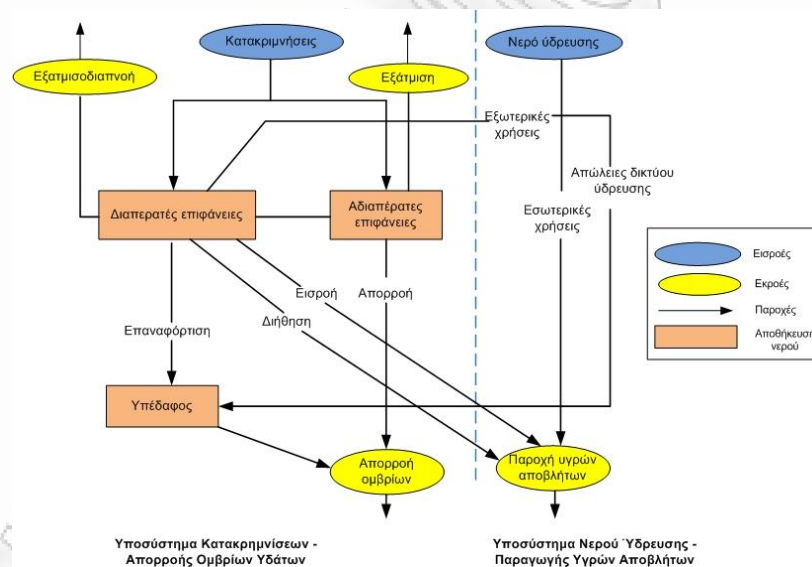
Το Aquacycle χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία ως εργαλείο υπολογισμού θεωρώντας ως σύστημα την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Τα μεγέθη αυτά είναι:

- Η ζήτηση πόσιμου νερού (νερό δικτύου ύδρευσης)
- Τα παραγόμενα υγρά απόβλητα
- Η απορροή ομβρίων υδάτων

Μετά τον υπολογισμό των τιμών των μεγεθών αυτών προτείνονται μέτρα εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα και εξετάζεται η αποτελεσματικότητα με χρήση δεικτών.

Ειδικότερα, για τον υπολογισμό της ζήτησης σε πόσιμο νερό, της παραγωγής αστικών λυμάτων και απορροής ομβρίων υδάτων, το Aquacycle προσομοιώνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια αστική περιοχή μέσα από μια σειρά εξισώσεων, βασισμένο στην έννοια του υδατικού ισοζυγίου.

Το εννοιολογικό μοντέλο που χρησιμοποιείται από το Aquacycle για να προσομοιώσει το ισοζύγιο του αστικού υδατικού κύκλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Προσομοίωση αστικού υδατικού κύκλου

Οι σύνδεσμοι αναπαριστούν τον τρόπο με τον οποίο το νερό μεταφέρεται μεταξύ των διαφόρων επιφανειών και δεξαμενών αποθήκευσης. Ο αστικός υδατικός κύκλος δέχεται εισόδους μέσω των κατακρημνίσεων και του πόσιμου νερού/νερού ύδρευσης, οι παροχές των οποίων συμμετέχουν στις διάφορες διεργασίες του συστήματος. Οι έξοδοι από το σύστημα έχουν τη μορφή της εξατμισοδιαπνοής /εξάτμισης, της απορροής ομβρίων υδάτων και των υγρών αποβλήτων. Η παρουσία των δεξαμενών αποθήκευσης προσομοιώνει την αποθήκευση του νερού στις διάφορες διεργασίες και την απόκριση στην απορροή ορισμένων παροχών (απορροή ομβρίων, διήθηση, εισροή κτλ.).

Τα δύο επιμέρους συστήματα που ενώνονται για να περιγράψουν ένα σύστημα αστικών υδάτων και προτείνονται από το Aquacycle είναι:

Το σύστημα κατακρημνίσεων – επιφανειακής απορροής περιγράφει την επιφανειακή απορροή των ομβρίων υδάτων από τεχνητές επιφάνειες (στέγες, δρόμοι, πλακόστρωτες περιοχές) και τις φυσικές διεργασίες όπως η διήθηση και εκροή νερού προς και από το δίκτυο ομβρίων υδάτων αντίστοιχα.

Το σύστημα κατανάλωσης νερού ύδρευσης – παραγωγής αστικών λυμάτων είναι απλούστερο, αποτελούμενο από τις παροχές που εισέρχονται για την κάλυψη των εσωτερικών χρήσεων του σπιτιού και από τις παροχές που εξέρχονται υπό τη μορφή παραγόμενων αστικών λυμάτων. Οι διεργασίες του συστήματος αυτού εκτός από την είσοδο του νερού του δικτύου ύδρευσης, είναι η εισροή παροχών ομβρίων υδάτων, η διήθηση και η εισροή υγρασίας από το έδαφος στο δίκτυο συλλογής υγρών αποβλήτων.

Για να διατυπωθεί ένα συνολικό ισοζύγιο μιας αστικής περιοχής, τα δύο συστήματα, κατακρημνίσεων-επιφανειακής απορροής και χρήσης νερού ύδρευσης – παραγωγής αστικών λυμάτων συνενώνονται σε ένα ολοκληρωμένο και ενιαίο μοντέλο. Τα δύο επιμέρους συστήματα είναι εξαρτημένα μεταξύ τους, και ο βαθμός αλληλεπίδρασής τους διαφέρει ανάλογα με το είδος του συστήματος που εξετάζεται.

Τρεις ομάδες δεδομένων εισόδου απαιτούνται για τη χρήση του Aquacycle:

- Η οικιακή κατανάλωση νερού
- Κλιματικά δεδομένα
- Δεδομένα των φυσικών και οικιστικών χαρακτηριστικών του προς εξέταση συστήματος,

Η οικιακή κατανάλωση νερού χρησιμοποιείται για να προβλέψει την ποσότητα του που είναι αναγκαία στις εσωτερικές χρήσεις όπως είναι η κουζίνα, το λουτρό, το πλυντήριο και η τουαλέτα.

Επίσης απαιτούνται οι ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Το εύρος (διάρκεια) των διαθέσιμων δεδομένων καθορίζει και τη μέγιστη περίοδο της προσομοίωσης.

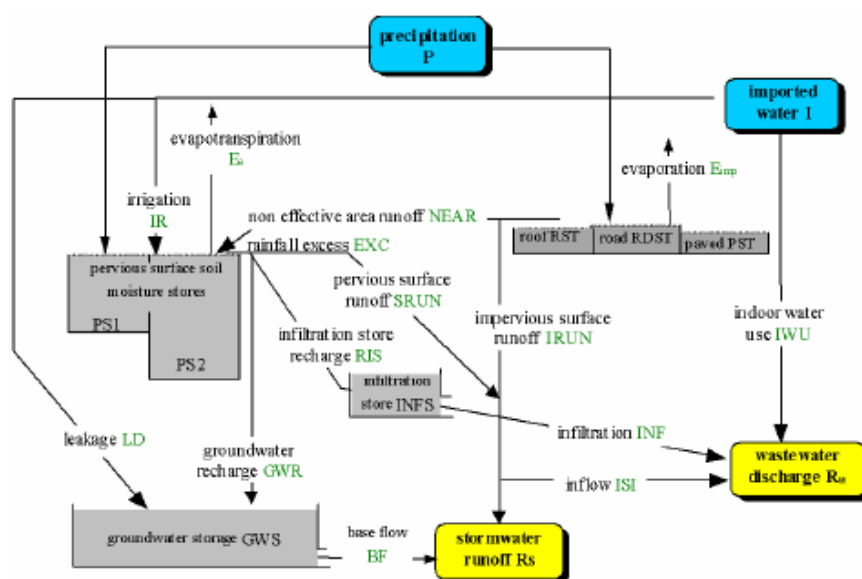
Τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής εισάγονται στο μοντέλο μέσω των μετρούμενων παραμέτρων και παραμέτρων βαθμονόμησης.

Κάθε μετρούμενη παράμετρος σχετίζεται άμεσα με φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών μπορούν να προσδιοριστούν μέσω μετρήσεων, παρατήρησης ή πληροφοριών από τοπικές πηγές. Η τιμή καθεμιάς παραμέτρου είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης του μοντέλου εκτός και αν κάποιο χαρακτηριστικό που υποδηλώνεται μέσω μιας τέτοιας παραμέτρου, αλλάξει σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός νέου δρόμου, θα αύξανε την παράμετρο που εκφράζει την έκταση δρόμων (Road Area) που αποτελεί μετρούμενη παράμετρο του μοντέλου και θα μείωνε την έκταση των ανοικτών περιοχών (Public open space).

Για να διεξαχθούν οι τιμές αυτών των μεγεθών ακολουθείται μια σειρά βημάτων προεπεξεργασίας. Αρχικά, συλλέγονται και επεξεργάζονται με κατάλληλο τρόπο, οι πληροφορίες που πηγάζουν από την περιοχή και οι οποίες σχετίζονται με πληροφορίες που θα υποστηρίξουν τον υπολογισμό των μεγεθών.

3.3 Αναπαράσταση διεργασιών αστικού υδατικού κύκλου σύμφωνα με το Aquacycle

Πολλές μεθοδολογίες προσομοίωσης του αστικού υδατικού κύκλου επικεντρώνονται στα επιμέρους τμήματα του αστικού κύκλου και συνήθως μεγέθη όπως οι παροχές ομβρίων υδάτων, το πόσιμο νερό και τα συστήματα υγρών αποβλήτων μελετώνται ξεχωριστά. Το Aquacycle ενοποιεί όλα τα επιμέρους υποσυστήματα σε ένα ενιαίο πλαίσιο και προβάλλει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του αστικού υδατικού συστήματος όπως αυτή περιγράφεται στο διάγραμμα του αστικού υδρολογικού κύκλου, (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 Μέθοδος προσομοίωσης που χρησιμοποιεί το Aquacycle

Το Aquacycle πρόκειται για ένα εννοιολογικό μοντέλο ημερήσιου χρονικού βήματος, που αναπαριστά τον αστικό υδατικό κύκλο. Οι βασικές πληροφορίες που απαιτούνται ώστε να προκύψουν ποσοτικά μεγέθη που περιγράφουν τον υδατικό κύκλο είναι στοιχεία για τις κλιματικές συνθήκες, πληροφορίες για τις εκτάσεις ή την εφαρμογή μέτρων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.

Εισερχόμενες παροχές στο σύστημα είναι η παροχή πόσιμου νερού και οι κατακρημνίσεις ενώ η παροχή υγρών αποβλήτων, ομβρίων υδάτων και η εξάτμιση είναι οι κύριες παροχές εξόδου.

Το Aquacycle δίνει τη δυνατότητα αναπαράστασης διαφόρων υδατικών συστημάτων καθώς αναπαριστά:

- Την ποικιλία χρήσεων γης: αστικές κατοικημένες περιοχές, ανοικτοί αστικοί χώροι, και αδιαπέρατες περιοχές (δρόμοι, πεζοδρόμια).
- Διαφορετικούς τύπους υποδομής υδατικών συστημάτων όπως παντοροϊκό αποχετευτικό σύστημα, χωριστικό σύστημα ομβρίων υδάτων.
- Τις τοπικές κλιματικές συνθήκες.

Μια ακόμα λειτουργία της προσομοίωσης του Aquacycle είναι η αναπαράσταση των πολλαπλών εναλλακτικών πρακτικών για την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων και των ομβρίων υδάτων.

3.3.1 Διεργασίες και χρησιμοποιούμενα μοντέλα του Aquacycle

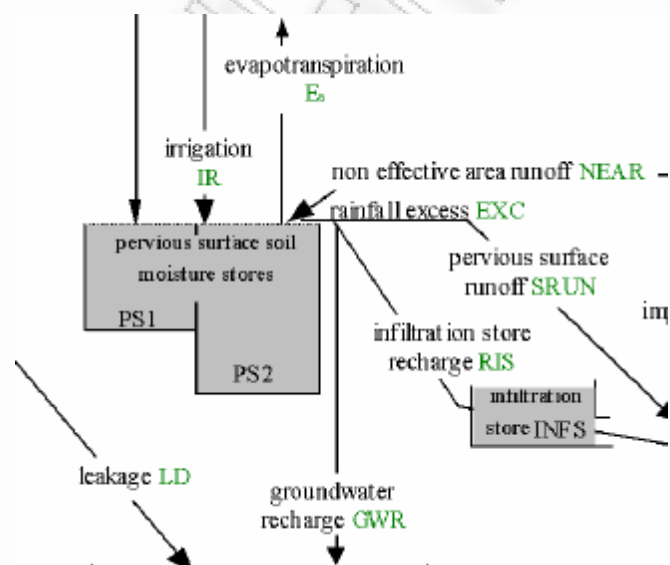
Αδιαπέρατες επιφάνειες

Οι αδιαπέρατες επιφάνειες (στέγες, δρόμοι, και πεζοδρόμια) αναπαρίστανται ως απλές δεξαμενές αποθήκευσης, οι οποίες εμφανίζουν το φαινόμενο της υπερχειλίσης όταν οι εισροές ξεπεράσουν τη δυναμικότητά τους.

Η έννοια της ενεργού αδιαπέρατης επιφάνειας «effective area» χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει το ποσοστό της επιφανειακής απορροής ομβρίων υδάτων που καταλήγει στο σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων. Η υπόλοιπη ποσότητα καταλήγει στην παρακείμενη διαπερατή περιοχή, (κήποι, ανοικτές περιοχές). Η ποσότητα που κατακρατείται στις δεξαμενές αυτές εκφράζει την υστέρηση του νερού (υπό μορφή κατακριμνήσεων) έως ότου μετατραπεί σε απορροή ομβρίων.

Διαπερατές επιφάνειες και δεξαμενή υπόγειας αποθήκευσης

Η αναπαράσταση των διαπερατών περιοχών και της υπόγειας αποθήκευσης βασίζεται στο μοντέλο AWBM όπως φαίνεται στην Εικόνα 17, (Boughton, 1993). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι διαπερατές περιοχές δέχονται εισόδους από τις κατακρημνίσεις, την άρδευση και την επιφανειακή απορροή των ομβρίων υδάτων από τις αδιαπέρατες περιοχές. Η ποσότητα του νερού που υπερχειλίζει από αυτές τις περιοχές υπολογίζεται ξεχωριστά για τις δύο διαπερατές δεξαμενές. Η συνολική υπερχειλίση στη συνέχεια διαιρείται σε τρία μέρη: την επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα (groundwater recharge), τη διείσδυση των ομβρίων υδάτων στο αποχετευτικό σύστημα υγρών αποβλήτων (infiltration store recharge) και στην απορροή από τις διαπερατές περιοχές (pervious surface runoff), που καταλήγει στο σύστημα ομβρίων υδάτων.



Εικόνα 17 Μοντέλο προσομοίωσης διαπερατών περιοχών

Εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή αποτελεί μια διεργασία που εκφράζει την απώλεια ποσοτήτων νερού από ένα σύστημα υδάτων. Για μια αστική περιοχή, η διεργασία της εξατμισοδιαπνοής είναι αρκετά πολύπλοκη σε αντίθεση με μια περιοχή που καλύπτεται από καλλιέργειες και δύσκολο να προσομοιωθεί και να υπολογιστεί καθώς περιλαμβάνει μια σειρά φαινομένων που οφείλονται στην ιδιομορφία των επιφανειών και στο μικροκλίμα της περιοχής. Στο Aquacycle, η ποσότητα της εξατμισοδιαπνοής από διαπερατές περιοχές, και της εξάτμισης από αδιαπέρατες περιοχές, υπολογίζεται χωριστά.

Νερό οικιακής χρήσης

Στα δεδομένα εισόδου του Aquacycle περιλαμβάνονται οι τιμές της κατανάλωσης νερού σε οικιακό επίπεδο, βασισμένης στο προφίλ των διαφόρων χρήσεων (κουζίνα, λουτρό, πλυντήριο, τουαλέτα) και στη δυναμικότητα του νοικοκυριού. Οι τιμές αυτές θεωρούνται σταθερές από το Aquacycle για όλη τη διάρκεια προσομοίωσης σε αντίθεση με την πραγματικότητα όπου παρατηρείται διακύμανση ανάλογα με τον τύπο του νοικοκυριού και την εποχή. Το δεδομένο αυτό χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση του νερού για αμιγώς οικιακή χρήση. Γίνεται η παραδοχή ότι όλο το νερό που χρησιμοποιείται για εσωτερική χρήση μετατρέπεται σε υγρά απόβλητα χωρίς καταναλωτικές απώλειες οι οποίες συνήθως αποτελούν το 2% της εσωτερικής.

Πίνακας 1 Παράδειγμα δεδομένων για το οικιακό προφίλ κατανάλωσης σύμφωνα με το Aquacycle για την περίπτωση Canberra (1992-1995), L/d

Δυναμικότητα Νοικοκυριού	Κουζίνα	Λουτρό	Πλυντήριο	Τουαλέτα
1	25	76	32	67
2	40	123	59	110
3	51	167	102	144
4	59	197	128	176
5	63	217	147	196
6	76	246	168	221
7	89	275	189	246

Πηγή: Mitchell (1998)

Άρδευση Αστικών Περιοχών

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 17 οι διαπερατές περιοχές δέχονται παροχές μέσω της άρδευσης και των κατακρημνίσεων. Το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση των κήπων αντιπροσωπεύει στις πόλεις μια αξιοσημείωτη ποσότητα, συνήθως το 16% έως το 34% το συνολικού νερού που παρέχεται σε μια αστική περιοχή, (Mitchell et al., 1999). Επιπλέον, ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται σε ανοικτές κοινόχρηστες περιοχές όπως είναι αθλητικοί χώροι και δημόσιοι χώροι αναψυχής. Η ποσότητα του νερού άρδευσης είναι συνάρτηση των απαιτήσεων σε νερό που έχουν τα φυτά αλλά και της συχνότητας άρδευσης. Οι απαιτήσεις των αρδευόμενων περιοχών σε νερό καθορίζονται από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, τον τύπο της βλάστησης, τον τύπο του εδάφους, αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι τα συστήματα άρδευσης, η συχνότητα με την οποία τίθενται σε λειτουργία και οι πρακτικές που εφαρμόζονται σε κάθε περιοχή.

Μέθοδοι ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού

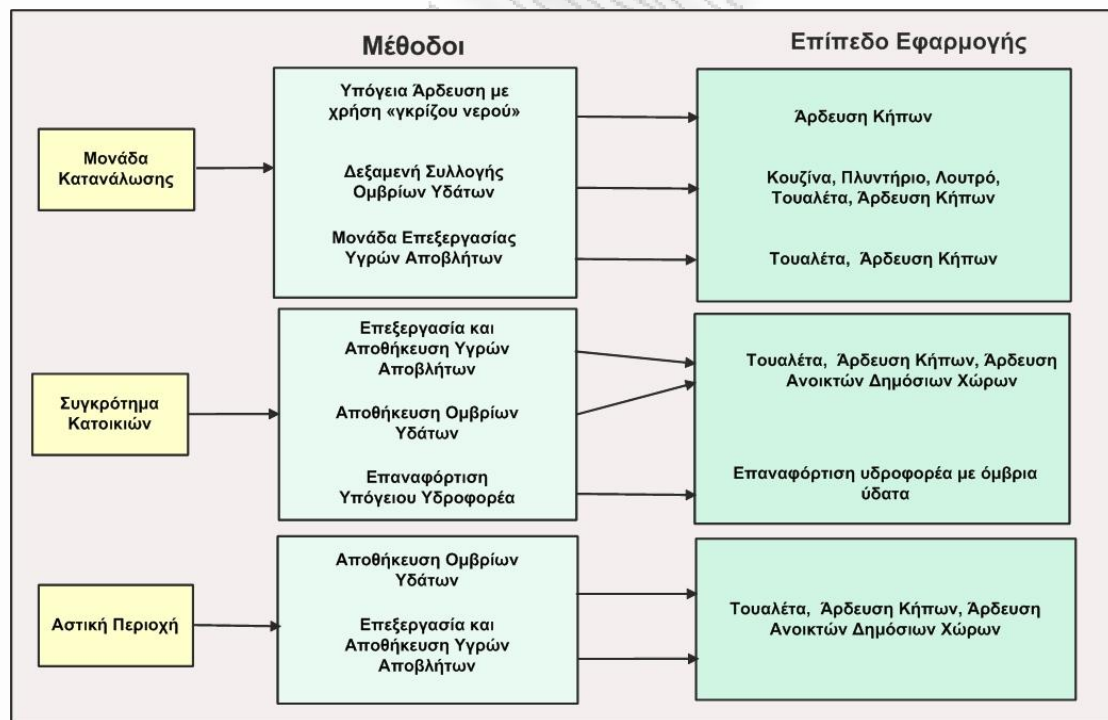
Σύμφωνα με το Aquacycle ένα εύρος μικρής έως και μεγάλης κλίμακας τεχνολογίες υποστηρίζουν σε επίπεδο οικίας ή σε κοινοτικό επίπεδο εναλλακτικά συστήματα παροχής νερού. Πρόκειται για δεξαμενές συλλογής ομβρίων υδάτων, μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, οικιακά συστήματα «γκρίζου νερού», και συστήματα επαναφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα (aquifer storage and recovery). Κοινό στοιχείο όλων αυτών των τεχνολογιών είναι η συλλογή, η αποθήκευση και κατόπιν η διανομή του νερού στις διάφορες χρήσεις. Οι πηγές από τις οποίες συλλέγεται το νερό καθώς και τα σημεία ζήτησης στα οποία θα διανεμηθεί, ποικίλουν. Μπορεί να απαιτείται ή όχι, επεξεργασία και αυτό εξαρτάται από την πηγή του νερού, την ποιότητά του και τη χρήση στην οποία θα διατεθεί.

Οι εναλλακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από το Aquacycle όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 18 είναι:

Σε επίπεδο μονάδας κατανάλωσης (Unit Block): δεξαμενές συλλογής ομβρίων υδάτων, επαναχρησιμοποίηση «γκρίζου νερού», σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων για περαιτέρω επεξεργασία και χρήση.

Σε επίπεδο οικοδομικού συγκροτήματος (Cluster), επαναφόρτιση υδροφορέα με όμβρια ύδατα, συλλογή και επεξεργασία υγρών αποβλήτων, συλλογή ομβρίων υδάτων.

Σε επίπεδο πόλης (Catchment) συλλογή ομβρίων, συλλογή και επεξεργασία υγρών αποβλήτων.



Εικόνα 18 Μέθοδοι εξοικονόμησης νερού σύμφωνα με το Aquacycle

3.3.2 Χρονική και χωρική κλίμακα προσομοίωσης του Aquacycle

Χρονικό Βήμα

Το Aquacycle χρησιμοποιεί ημερήσιο χρονικό βήμα για τον υπολογισμό των διαφόρων μεγεθών, ενώ μπορεί να αποδώσει τα αποτελέσματά του και σε μηνιαίο και ετήσιο χρονικό βήμα.

Χωρική κλίμακα του μοντέλου

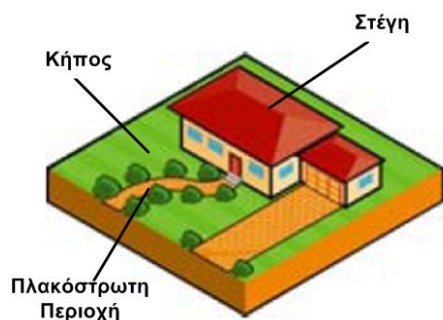
Το Aquacycle βασίζει την ανάλυσή του σε τρία επίπεδα διαχείρισης. Αυτά είναι η Μονάδα Κατανάλωσης (Unit Block), το Συγκρότημα όμοιων Μονάδων Κατανάλωσης (Cluster) και η Συνολική Αστική Περιοχή (Catchment).

Η διάκριση αυτή υποδεικνύει ότι οι μέθοδοι εξοικονόμησης νερού μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε κλίμακα ξεκινώντας από το μικρότερο επίπεδο διαχείρισης που είναι το νοικοκυριό και φθάνοντας μέχρι τα μέτρα εξοικονόμησης που εφαρμόζονται σε αστικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό δίνεται μια σαφέστερη εικόνα για το εύρος των εναλλακτικών πηγών νερού και των αντίστοιχων μεθόδων με τις οποίες μπορεί να επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση σε μια περιοχή.

Μονάδα κατανάλωσης (Unit Block)

Η Μονάδα Κατανάλωσης (Unit Block) (Εικόνα 19) αναπαριστά τη μικρότερη κλίμακα κατανάλωσης, η οποία μπορεί να είναι ένα σπίτι, μια βιομηχανική, μια εμπορική ή δημόσια δραστηριότητα να περιλαμβάνει ένα (ή περισσότερα κτήρια), εκτάσεις καλυμμένες με αδιαπέρατο υλικό, (πεζοδρόμια ή πλακόστρωτες εκτάσεις κτλ.) και περιοχές που καλύπτονται από πράσινο.

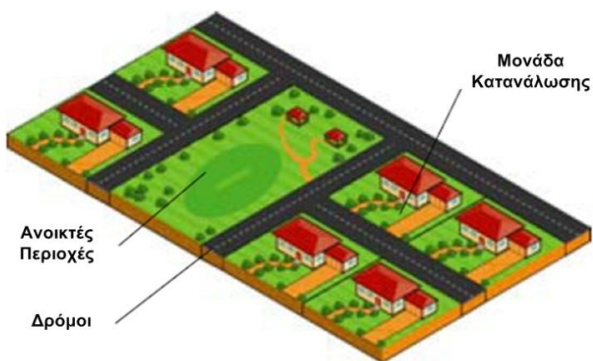
Για τις ανάγκες των υπολογισμών του Aquacycle και τον υπολογισμό του ισοζυγίου σε επίπεδο δομικής μονάδας, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι τιμές της κατά κεφαλήν κατανάλωσης νερού σε εσωτερικές χρήσεις (στην κουζίνα, στο λουτρό, στο πλυντήριο και στην τουαλέτα). Επίσης πρέπει να δοθούν οι τιμές των εκτάσεων της Μονάδας Κατανάλωσης, της στέγης, των πλακόστρωτων περιοχών και των κήπων, η δυναμικότητα του σπιτιού σε κατοίκους και το ποσοστό της διαπερατής περιοχής που αρδεύεται.



Εικόνα 19 Απεικόνιση του Unit Block

Συγκρότημα (Cluster)

Ένα Συγκρότημα (Cluster) (Εικόνα 20) αναπαριστά μια γειτονιά ή ένα προάστιο και αποτελείται από ένα σύνολο πανομοιότυπων Μονάδων Κατανάλωσης, στο οποίο περιλαμβάνονται δρόμοι και ανοικτοί χώροι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ένα σύνολο Μονάδων Κατανάλωσης οι οποίες μοιράζονται από κοινού μια κοινή έκταση πρασίνου και διαχωρίζονται μεταξύ τους με δρόμους.

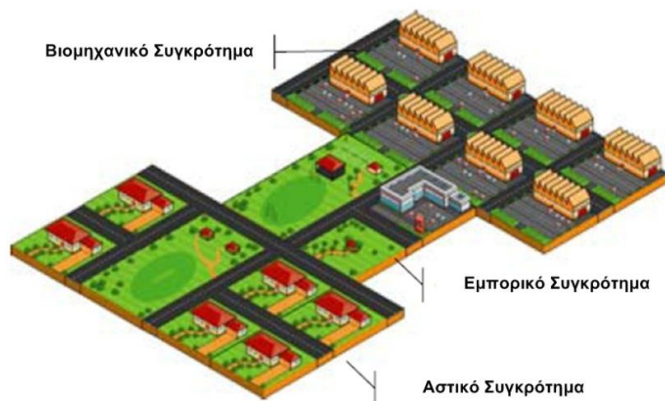


Εικόνα 20 Απεικόνιση του Cluster

Συνολική Αστική Περιοχή (Catchment)

Η συνολική περιοχή περιλαμβάνει έναν αριθμό από Συγκροτήματα (Clusters) που μπορεί να είναι οικίες, βιομηχανίες ή εμπορικές δραστηριότητες. Για να γίνουν οι υπολογισμοί του μοντέλου σε επίπεδο της Συνολικής Αστικής Περιοχής απαιτείται να προσδιοριστούν οι παράμετροι όλων των Συγκροτημάτων.

Η μοντελοποίηση της συνολικής περιοχής επιτρέπει την εκτίμηση μεγεθών όπως η κατανάλωση πόσιμου νερού, η παραγωγή υγρών αποβλήτων και η απορροή ομβρίων υδάτων και των αθροιστικών επιδράσεων των διαφορετικών στρατηγικών διαχείρισης που βρίσκουν εφαρμογή σε μια περιοχή



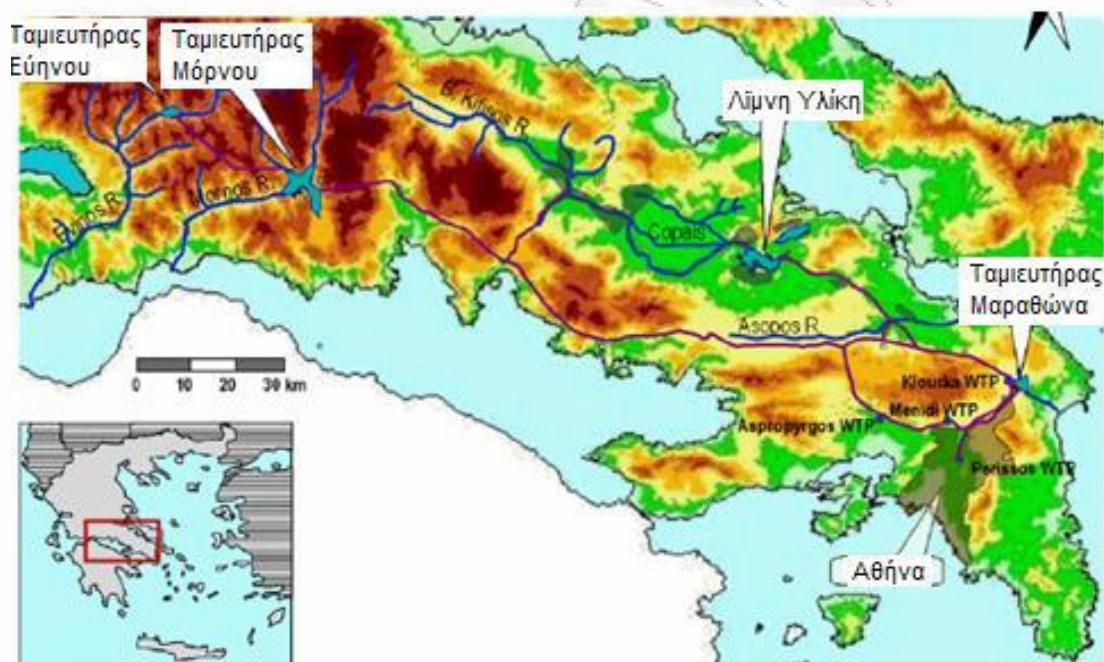
Εικόνα 21 Απεικόνιση του Catchment

4 Αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης νερού με χρήση του μοντέλου Aquacycle - Εφαρμογή στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας

4.1 Σύστημα ύδρευσης της Αθήνας

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 22 περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Υδατικούς πόρους, επιφανειακούς και υπόγειους.
- Έργα αποθήκευσης επιφανειακού νερού (ταμιευτήρες, φράγματα, δεξαμενές).
- Έργα άντλησης υπόγειου νερού (γεωτρήσεις).
- Υδραγωγεία, έργα διαχείρισης υδραγωγείων (αντλιοστάσια, ρυθμιστές ροής).
- Μονάδες επεξεργασίας νερού.



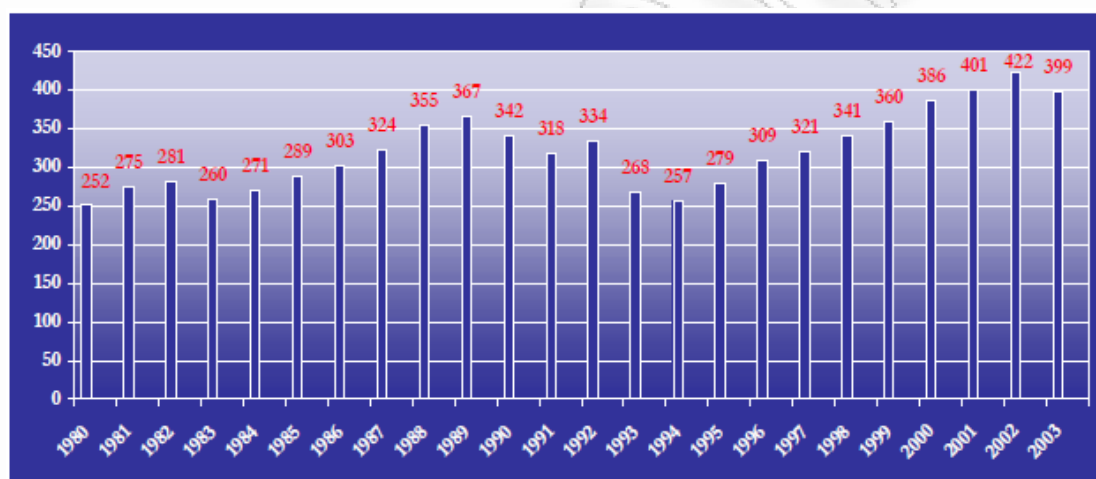
Εικόνα 22 Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Ειδικότερα, πρόκειται για ένα εκτεταμένο και σύνθετο σύστημα που καλύπτει έκταση 4.000 km² και περιλαμβάνει επιφανειακές και υπόγειες υδατικές πηγές. Συμπεριλαμβάνει 4 ταμιευτήρες, 350 km αγωγών υδραγωγείου, 15 αντλιοστάσια, περισσότερες από 100 γεωτρήσεις και 4 μονάδες επεξεργασίας νερού. Το σύστημα διοικείται από την Εταιρεία Ύδρευσης Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ). Οι ταμιευτήρες του Μόρνου και της λίμνης Υλίκης, συντελούν στο 88,5% της συνολικής δυναμικότητας, που αντιστοιχεί σε 1.400 hm³. Ο ταμιευτήρας του Εύηνου είναι μικρότερος σε δυναμικότητα από τους δύο προαναφερθέντες, ενώ ο μικρότερος ταμιευτήρας είναι αυτός του Μαραθώνα και κοντινότερος στην Αθήνα. Σήμερα ο Μαραθώνας διατηρείται σε επίπεδα υψηλής στάθμης και χρησιμοποιείται υποστηρικτικά για έκτακτες περιπτώσεις και σαν συμπληρωματική πηγή για ζήτηση αιχμής κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Δύο υδραγωγεία μεταφέρουν νερό από τη λίμνη Υλίκη και τον ταμιευτήρα του Μόρνου. Το υδραγωγείο του Μόρνου μεταφέρει το νερό μέσω βαρύτητας, ενώ το νερό από την Υλίκη μεταφέρεται μόνο με τη βοήθεια αντλιοστασίων έχοντας ως επακόλουθο σημαντικό κόστος. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της λίμνης Υλίκης είναι οι σημαντικές απώλειες του υπεδάφους της. Εξαιτίας των μεγάλων απωλειών, περίπου 500 hm³ ετησίως είναι δυνατό να διατίθενται στο σύστημα ύδρευσης της Αθήνας, παρόλο που η μέση ποσότητα εισροών είναι περίπου 840 hm³ ετησίως.

4.1.1 Μονάδες επεξεργασίας νερού

Οι ποσότητες νερού που προέρχονται από τις πηγές οδηγείται στις τέσσερις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού, οι οποίες έχουν συνολική δυναμικότητα 1.8 εκατομμύρια m³/ημέρα: Γαλάτσι (1931), Αχαρνές (1979 και 1992 κατασκευή νέου τμήματος), Πολυδένδρι (1986) Ασπρόπυργος (1995), (ΕΥΔΑΠ, 2004). Μετά την επεξεργασία το νερό εισέρχεται στο δίκτυο ύδρευσης.



Εικόνα 23 Ιστορική εξέλιξη κατανάλωσης νερού στην Αθήνα

Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων μονάδων επεξεργασίας νερού, (ΕΥΔΑΠ, 2005).

Πίνακας 2 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού

Όνομα	Υψόμετρο Εγκατάστασης (m)	Μέγιστη επεξεργασία 1996-01 (hm ³ /ημ)	Επεξεργασία αιχμής (hm ³ /ημ)	Αποθηκευτική ικανότητα (hm ³ /ημ)
Γαλατσίου	+159	0.6	0.70	0.215
Μενιδίου	+232	0.61	0.80	0.28
Κιούρκων	+248	0.20	0.31	0.06
Μάνδρας	+232	0.20	0.215	0.05
Σύνολο		1.54	2.025	0.59

(Πηγή ΕΥΔΑΠ, 2005)

4.1.2 Δίκτυο ύδρευσης

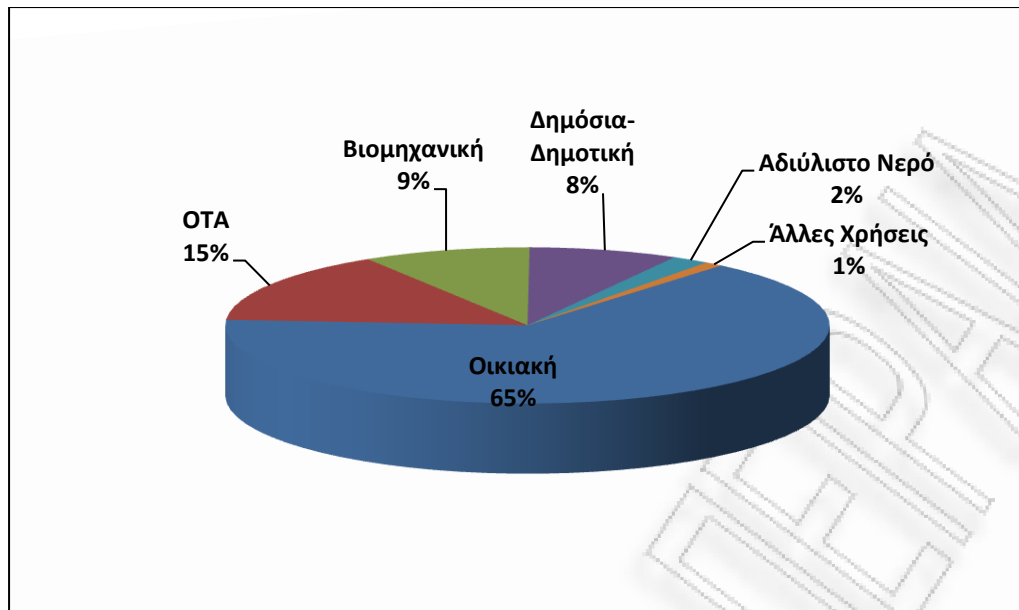
Τα γενικά χαρακτηριστικά του δικτύου ύδρευσης της Αθήνας το οποίο μεταφέρει το νερό από τις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού ώστε να τροφοδοτήσει τη ζήτηση της πόλης συνοψίζονται στα ακόλουθα, (ΕΥΔΑΠ, 2004):

- Εξυπηρετούμενος πληθυσμός: 4.000.000
- Αριθμός συνδέσεων: 1.796.500
- Εξυπηρετούμενοι δήμοι: 112
- Ετήσια ποσότητα επεξεργαζόμενου νερού: 39.220.304 m³
- Μέση κατανάλωση νερού: 1.100.000 m³/ημέρα
- Ειδική κατανάλωση νερού (εκφρασμένη σε L/άτομο/ ημέρα, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις κατηγορίες χρήσεων νερού): 273
- Μήκος δικτύου ύδρευσης: 7.940km
- Διάμετροι αγωγών από 1800mm έως 100mm
- 56 δεξαμενές αποθήκευσης σε λειτουργία συνολικού όγκου 879.615m³
- Αντλιοστάσια: 76

4.1.3 Προσφορά πόσιμο νερού και κατηγορίες χρήσεων

Η ΕΥΔΑΠ υδροδοτεί σχεδόν το σύνολο του Νομού Αττικής. Η περιοχή ευθύνης της εταιρείας (που σχεδόν ταυτίζεται με την περιφέρεια πρωτεύουσας) αποτελείται από δήμους και κοινότητες των οποίων τα δίκτυα διανομής λειτουργεί και εκμεταλλεύεται η ΕΥΔΑΠ. Στην περιοχή ευθύνης δεν περιλαμβάνονται οι κοινότητες Νέας Ερυθραίας και Εκάλης, οι οποίες υδρεύονται από τοπικές πηγές και με δικό τους δίκτυο. Ακόμη, δεν περιλαμβάνονται περιοχές που υδρεύονται εξ ολοκλήρου από τοπικά δίκτυα, τα οποία ενισχύονται από την ΕΥΔΑΠ, όπως τα Βριλήσσια, το μεγαλύτερο μέρος της Λυκόβρυσης, καθώς και τμήματα περιοχών Αγίου Δημητρίου, Αμαρουσίου, Γαλατσίου, Γλυφάδας, Ηρακλείου, Κηφισιάς και Περάματος. Αντίθετα, οι περιοχές της Παλλήνης, του Ζεφυρίου και τμήματα κοινοτήτων Βάρης και Γλυκών Νερών που δεν ανήκουν στην Περιφέρεια Πρωτεύουσας περιλαμβάνονται στην περιοχή ευθύνης της ΕΥΔΑΠ.

Η κατανομή του νερού στις διάφορες χρήσεις παρουσιάζεται στην Εικόνα 24.



Εικόνα 24 Κατανομή κατανάλωσης στους διάφορους τομείς χρήσεων

Η συνολική κατανάλωση νερού υποδιαιρείται σε διάφορες κατηγορίες χρήσεων οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια:

1. **Κοινή κατανάλωση (Οικιακή κατανάλωση):** Αφορά στην παροχή νερού με τιμολόγιο κοινής κατανάλωσης μέσα στην περιοχή ευθύνης της ΕΥΔΑΠ. Περιλαμβάνει την οικιακή κατανάλωση καθώς και αυτή από μικρές επαγγελματικές δραστηριότητες (γραφεία, καταστήματα), για τις οποίες δεν συντρέχουν λόγοι τιμολόγησης με το επαγγελματικό – βιομηχανικό τιμολόγιο. Η κοινή κατανάλωση την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 62-68% της συνολικής τιμολογημένης.
2. **Κατανάλωση για την ενίσχυση των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ):** Αφορά στην παροχή νερού σε κοινότητες εντός της περιοχής αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ. Το νερό δίνεται συνολικά στους ΟΤΑ, οι οποίοι το διανέμουν στους χρήστες μέσω των δικών τους δικτύων. Η κατανάλωση των ΟΤΑ την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 13-17% της συνολικής τιμολογημένης.
3. **Βιομηχανική και επαγγελματική κατανάλωση:** Αφορά στην παροχή του νερού με τιμολόγιο βιομηχανικής κατανάλωσης εντός των περιοχών. Περιλαμβάνει κυρίως βιομηχανίες και δευτερευόντως, ξενοδοχεία, τουριστικές και αθλητικές εγκαταστάσεις, κλπ. Η βιομηχανική κατανάλωση την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 7-11% της συνολικής τιμολογημένης.
4. **Δημόσια και Δημοτική κατανάλωση:** Περιλαμβάνει την κατανάλωση δημοσίων και δημοτικών εγκαταστάσεων, ύδρευση και άρδευση κοινόχρηστων χώρων (πάρκα, πρασιές οδών), πέραν της δωρεάν ποσότητας που χορηγείται για το σκοπό αυτό. Η δημόσια και δημοτική κατανάλωση την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 7-9% της συνολικά τιμολογημένης.
5. **Αδιύλιστο νερό:** Πρόκειται για το ακατέργαστο νερό που παρέχεται σε ορισμένους δήμους και κοινότητες κοντά στα εξωτερικά υδραγωγεία της ΕΥΔΑΠ.
6. **Άλλες χρήσεις:** Περιλαμβάνουν τις καταναλώσεις της πυροσβεστικής, μικρές ποσότητες που παρέχονται δωρεάν για το πότισμα κοινόχρηστων χώρων. Οι καταναλώσεις αυτές κυμαίνονται στο 1% της τιμολογημένης.

4.1.4 Απώλειες νερού

Οι συνολικές απώλειες νερού υπολογίζονται ως η διαφορά του συνολικού όγκου νερού που τιμολογείται από τον όγκο που καταγράφεται στην έξοδο των ταμιευτήρων. Η διαφορά αυτή προέρχεται από τις απώλειες των εξωτερικών υδραγωγείων κατά τη διαδρομή μέχρι τα διυλιστήρια και τις απώλειες του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης. Οι πρώτες περιλαμβάνουν διαρροές, υπερχειλίσεις ή μη μετρούμενες παροχές στη διαδρομή μέχρι τα διυλιστήρια ενώ οι δεύτερες προέρχονται από τα σφάλματα των οικιακών υδρομετρητών που υποεκτιμούν της εισερχόμενη ποσότητα και από διαρροές του εσωτερικού δικτύου ή παράνομες απολήψεις. Ακόμη ορισμένες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των διυλιστηρίων.

Σύμφωνα με δεδομένα της ΕΥΔΑΠ οι απώλειες του εσωτερικού δικτύου κατά τη δεκαετία του 1980 κυμάνθηκαν γύρω στα 100 hm³ ετησίως, ποσότητα που αντιστοιχούσε στο 30-38% της παροχής των διυλιστηρίων. Κατά τη δεκαετία του 1990 η αντικατάσταση των υδρομετρητών και οι επισκευές του δικτύου είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών στα επίπεδα των 80 hm³. Ποσότητα που αντιστοιχεί στο 25% της παροχής των διυλιστηρίων. Ακόμα, είναι φανερό ότι οι απώλειες είναι σχεδόν ανεξάρτητες από τη συνολική παροχή και εκτιμώνται σαν σταθερές ποσότητες.

4.1.5 Εποχική και ημερήσια διακύμανση της κατανάλωσης

Η διακύμανση της κατανάλωσης για την περιοχή της Αθήνας, στους διάφορους μήνες και ημέρες εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες, η μετακίνηση πληθυσμού και τα έκτακτα γεγονότα.

Με βάση τα δεδομένα από την κατανάλωση νερού στην Αθήνα εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η κοινή (οικιακή κατανάλωση) μειώνεται τους θερινούς μήνες λόγω μετακίνησης του πληθυσμού της Αθήνας για διακοπές.
- Η βιομηχανική κατανάλωση αυξάνει το καλοκαίρι, δεδομένου ότι σε αυτή περιλαμβάνονται τα ξενοδοχεία.
- Η δημόσια και δημοτική κατανάλωση παρουσιάζει μέγιστα τους μήνες Μάρτιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο, γεγονός που συνδέεται με τη φύτευση νέων δέντρων και την άρδευση πάρκων.
- Σχεδόν το 50% κατανάλωσης των ΟΤΑ γίνεται τους μήνες Ιούνιο-Σεπτέμβριο και εξηγείται από τη συσσώρευση πληθυσμού στο υπόλοιπο Αττικής για θερινές διακοπές.

4.2 Σύστημα αποχέτευσης - Επεξεργασία αστικών λυμάτων

4.2.1 Λειτουργία δικτύου αποχέτευσης

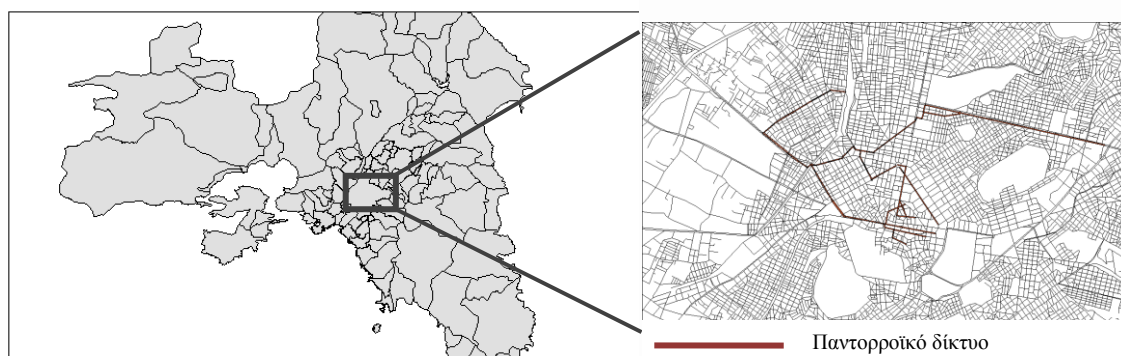
Το δίκτυο συλλογής υγρών αποβλήτων έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εξυπηρετούμενος πληθυσμός: περίπου 3.300.000
- Συνδέσεις στο δίκτυο: 1.680.000
- Εξυπηρετούμενοι δήμοι: 62
- Μήκος δικτύου αποχέτευσης: 5800 km
- Αντλιοστάσια: 42
- Επεξεργαζόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων σε ετήσια βάση: 271.674.750 m³/έτος
- Καλύπτει το 92% των αναγκών αποχέτευσης της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας

Η αποχέτευση του Λεκανοπεδίου Αττικής αποτελείται από αγωγούς ομβρίων και ακαθάρτων. Οι μεν αγωγοί ομβρίων καταλήγουν με φυσική ροή στη θάλασσα, οι δε αγωγοί ακαθάρτων καταλήγουν στη θαλάσσια περιοχή της Ψυττάλειας αφού προηγηθεί ο βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας.

Το αποχετευτικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου είναι χωριστικό εκτός από το κέντρο της Αθήνας όπου το δίκτυο είναι παντοροϊκό (Εικόνα 25). Το συνολικό μήκος του δικτύου αποχέτευσης είναι 5.800 χλμ. και καλύπτει το 92% των αποχετευτικών αναγκών της Αττικής. Οι αγωγοί ακαθάρτων μεγάλης διατομής διέρχονται από περιοχές των οποίων οι κλίσεις επιτρέπουν τη φυσική ροή των λυμάτων λόγω της βαρύτητας (αγωγοί βαρύτητας). Εξάιρεση αποτελεί ο Παραλιακός Συλλεκτήρας της ακτής Σαρωνικού, η λειτουργία του οποίου γίνεται με μια αλληλουχία 42 ενδιάμεσων αντλιοστασίων.

Τα λύματα μέσω αγωγών άντλησης οδηγούνται όλα στον ΚΑΑ για να καταλήξουν στο Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων της Ψυττάλειας.



Εικόνα 25 Τμήμα του δικτύου αποχέτευσης του κέντρου της Αθήνας που διαθέτει παντοροϊκό δίκτυο

4.2.2 Επεξεργασία αστικών λυμάτων

Στην Ψυττάλεια τα λύματα υποβάλλονται σε κυρίως επεξεργασία, δηλαδή σε πρωτοβάθμια καθίζηση. Στη συνέχεια, μέσω των αγωγών οδηγούνται σε ικανοποιητικό βάθος και διαχέονται στον αποδέκτη, το Σαρωνικό Κόλπο. Μέσω της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας τα αιωρούμενα στερεά των λυμάτων μειώνονται κατά 60% περίπου και το οργανικό φορτίο (BOD) κατά 35% περίπου και φθάνουν σε μέσες συγκεντρώσεις 160 mg/l και 250 mg/l αντίστοιχα, στα επεξεργασμένα λύματα. Ειδικότερα τα χαρακτηριστικά (συγκεντρώσεις σε mg/l) των εισερχομένων λυμάτων είναι (μέσες τιμές περιόδου 9/1996 - 8/2000): αιωρούμενα στερεά 446, πτητικά αιωρούμενα στερεά 338, BOD 418 και COD 948, ενώ τα αντίστοιχα μεγέθη στην εκροή είναι: αιωρούμενα στερεά 159, πτητικά αιωρούμενα στερεά 126, BOD 250 και COD 529.

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας είναι:

- Υδραυλικό φορτίο σχεδιασμού κατά μέσο όρο 1.200.000 m³/ημέρα
- Μέσο ημερήσιο επεξεργαζόμενο φορτίο: 760.000 m³/ημέρα, (ΕΥΔΑΠ, 2004)

4.3 Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο Aquacycle

Τα δεδομένα που απαιτούνται σχετίζονται με ένα σύνολο παραμέτρων που εκφράζουν τα χαρακτηριστικά του συστήματος αστικών υδάτων της υπό μελέτη περιοχής. Τα δεδομένα είναι: η οικιακή κατανάλωση νερού, κλιματικά δεδομένα κατακρημνίσεων και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής υπό τη μορφή χρονοσειρών και παράμετροι που αφορούν σε φυσικά και οικιστικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Αυτές οι παράμετροι κατηγοριοποιούνται σε μετρούμενες και παραμέτρους βαθμονόμησης. Επίσης χρησιμοποιούνται και πραγματικές μετρήσεις μεγεθών ώστε να συγκριθούν με τα υπολογιζόμενα και να γίνει η επαλήθευση της προσομοίωσης.

4.3.1 Οικιακή κατανάλωση νερού

Το Aquacycle προσομοιώνει τις λειτουργίες του αστικού υδατικού κύκλου και επικεντρώνει τους υπολογισμούς του αντιστοιχεί στον αμιγώς αστικό τύπο κατανάλωσης νερού.

Η οικιακή κατανάλωση νερού αντιπροσωπεύει την ποσότητα που καταναλώνεται στις εσωτερικές χρήσεις ενός νοικοκυριού όπως είναι η κουζίνα, το λουτρό, το πλυντήριο και η τουαλέτα και εκφράζεται σε L/άτομο/ημέρα. Μια τυπική τιμή για την περίπτωση της Αθήνας είναι 273L/άτομο/ημέρα, (ΕΥΔΑΠ, 2004), στην οποία λαμβάνονται υπόψη όλες οι κατηγορίες χρήσεων νερού της περιοχής, (οικιακή, βιομηχανική/επαγγελματική, δημόσια/δημοτική κτλ.) Η τιμή αυτή προσαρμόστηκε (ύστερα από δοκιμές στο μοντέλο και σύγκριση/επαλήθευση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχες πραγματικές) ώστε να εκφράζει την αμιγώς οικιακή κατανάλωση. Μετά τη διαδικασία της προσαρμογής διαπιστώθηκε ότι μια προσεγγιστική τιμή ίση με 210L/άτομο/ημέρα ήταν ικανοποιητική για τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Ο καταμερισμός της συνολικής αυτής τιμής στις επιμέρους χρήσεις σε επίπεδο ενός νοικοκυριού δεν είναι γνωστός για την περιοχή της Αθήνας, καθώς δεν υπάρχει σχετική αναφορά ή μελέτη που να παρέχει αυτή την πληροφορία. Η κατανομή στηρίχθηκε σε δεδομένα και σε παραδείγματα που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία, (Loh M. and Coghlan P, 2003) προκειμένου να αποδοθούν κάποιες αντιπροσωπευτικές τιμές, όπως αυτές καταγράφονται στον Πίνακα 3:

Πίνακας 3 Προφίλ κατανάλωσης νερού σε εσωτερικές χρήσεις ενός νοικοκυριού

Κουζίνα	Λουτρό	Τουαλέτα	Πλυντήριο	Σύνολο
22%	34%	18%	26%	100%

Τελικά διαμορφώνεται το προφίλ της οικιακής κατανάλωσης, με τη μορφή που ζητείται από το Aquacycle, ως συνάρτηση της δυναμικότητας του νοικοκυριού και του τύπου εσωτερικής χρήσης (Πίνακας 4).

Πίνακας 4 Κατανάλωση νερού σε οικιακή κλίμακα ως συνάρτηση της δυναμικότητας και του τύπου των χρήσεων

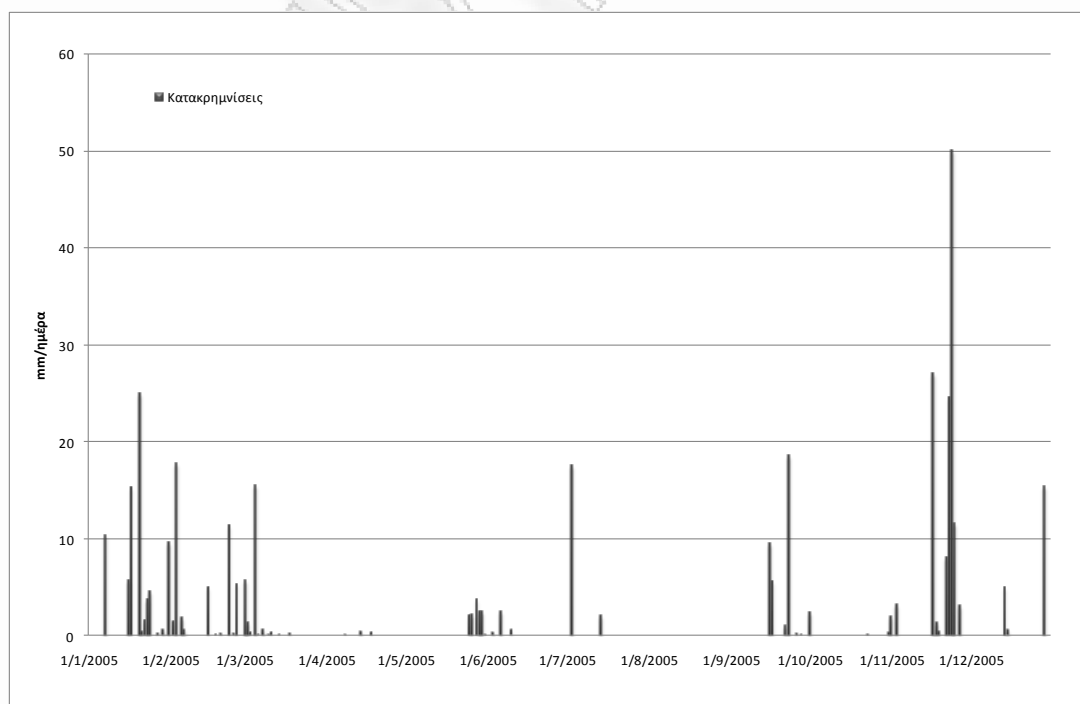
Δυναμικότητα Νουκοκυριού	Κουζίνα	Λουτρό	Τουαλέτα	Πλυντήριο
1	46	71	38	55
2	92	143	76	109
3	139	214	114	164
4	185	286	151	219
5	231	357	189	273
6	277	429	227	328
7	324	500	265	383

4.3.2 Κλιματικά Δεδομένα

Τα κλιματικά δεδομένα που ζητούνται από το Aquacycle είναι ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και δυνητικής εξάτμισης. Το μήκος των χρονοσειρών ταυτίζεται με τη χρονική διάρκεια της περιόδου για την οποία έχει επιλεγεί να γίνει η προσομοίωση.

Κατακρημνίσεις

Οι τιμές βροχόπτωσης αναφέρονται στο έτος 2005 και προέρχονται από μετρητικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας που βρίσκονται εγκατεστημένοι στις περιοχές του Ελληνικού και της Νέας Φιλαδέλφειας. Για τη σύνθεση της χρονοσειράς των κατακρημνίσεων αξιοποιήθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών καθώς μόνο αυτές ήταν διαθέσιμες για την περιοχή της Αθήνας. Για το λόγο αυτό έγινε η παραδοχή ότι αποτελούν αντιπροσωπευτικές τιμές για όλη την έκταση που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

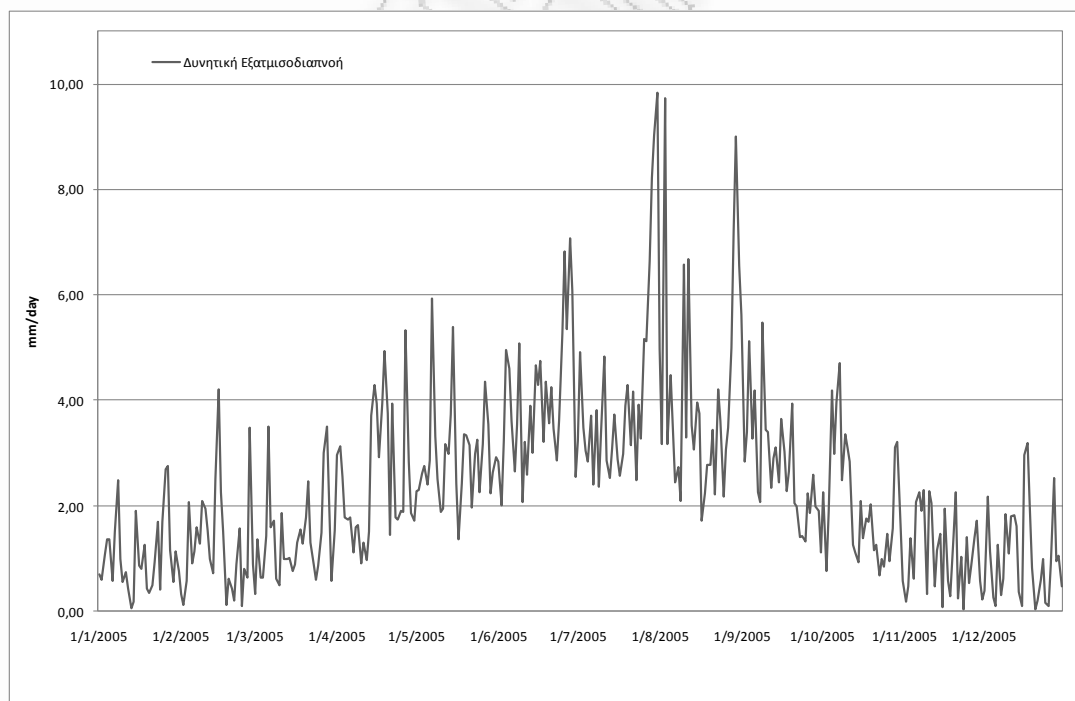


Εικόνα 26 Ημερήσιες τιμές κατακρημνίσεων

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Στην κατηγορία των κλιματικών δεδομένων του Aquacycle ανήκουν επίσης οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε ημερήσιο χρονικό βήμα.

Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι δύσκολο να μετρηθούν άμεσα καθώς για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές ενώ ταυτόχρονα απαιτούνται συστηματικές μετρήσεις διαφόρων επιμέρους φυσικών παραμέτρων. Οι μέθοδοι άμεσης μέτρησης των τιμών της εξατμισοδιαπνοής είναι απαιτητικές όσον αφορά στη συλλογή και την ακρίβεια των δεδομένων. Συνεπώς, οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής βασίζονται σε έμμεσους υπολογισμούς για τους οποίους χρησιμοποιούνται κλιματικά δεδομένα. Μια σειρά από εμπειρικές και ημι – εμπειρικές εξισώσεις έχουν αναπτυχθεί με σκοπό να εκτιμούν την εξατμισοδιαπνοή από διάφορα είδη καλλιεργειών μέσω μετεωρολογικών δεδομένων μεταξύ των οποίων η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος Penman – Monteith. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν οι ημερήσιες τιμές της εξατμισοδιαπνοής όπως φαίνονται στο διάγραμμα, (Εικόνα 27). Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με την εξίσωση Penman-Monteith εισάγοντας σε αυτή μετρήσεις ημερήσιων τιμών μέσης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας. Οι τιμές των μεγεθών αυτών αναζητήθηκαν στο διαδίκτυο όπου υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από μετρητικούς σταθμούς στην Αθήνα. Η διαδικασία των υπολογισμών περιγράφεται αναλυτικά στο Παράρτημα.



Εικόνα 27 Ημερήσιες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

4.3.3 Μετρούμενες παράμετροι και παράμετροι βαθμονόμησης

Η έκταση στη βάση της οποίας πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί και η αξιολόγηση των μέτρων εξοικονόμησης ύδατος σε αποκεντρωμένη κλίμακα, πρόκειται για αυτή που περικλείεται από τα όρια του Λεκανοπεδίου Αττικής (Ευρύτερη περιοχή της Αθήνας) και ειδικότερα για τους Δήμους που ανήκουν στην περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ. Κατά την καταγραφή των παραμέτρων και των δεδομένων εισόδου του μοντέλου, διαπιστώνεται ότι ένα μέρος των απαιτούμενων αυτών πληροφοριών είναι διαθέσιμο είτε μέσω μετρήσεων από ψηφιακούς χάρτες είτε έμμεσα μέσω εκτιμήσεων ή ενδιάμεσων υπολογισμών, βιβλιογραφικών πηγών και δημογραφικών δεδομένων.

Μια από τις ομάδες παραμέτρων που εισάγονται στο Aquacycle σχετίζεται με φυσικά – οικιστικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Αυτές οι παράμετροι αποδίδουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα για την κατανομή των χρήσεων γης στα όρια μιας αστικής περιοχής και πιο συγκεκριμένα για το ποσοστό των εκτάσεων που καλύπτονται από δόμηση (κτήρια), μη διαπερατές επιφάνειες/τεχνητή επικάλυψη (δρόμοι, πεζοδρόμια, πλακόστρωτες περιοχές ενός κτηρίου ή μιας συνοικίας) και τις διαπερατές ανοικτές περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση και είναι αρδευόμενες ή μη, (κήποι, ανοικτοί δημόσιοι χώροι, πράσινες περιοχές, πάρκα κτλ.). Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν μέσω επεξεργασίας ψηφιακών χαρτών και δορυφορικών εικόνων.

Επίσης χρησιμοποιούνται δημογραφικά δεδομένα (κάτοικοι ανά νοικοκυριό, αριθμός κτηρίων) καθώς και πληροφορίες για την κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού. Για τη μελέτη περίπτωσης της Αθήνας συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω βιβλιογραφικής αναζήτησης και δημοσιευμένων πληροφοριών που παρείχε η υπηρεσία διαχείρισης ύδρευσης – αποχέτευσης της περιοχής.

Για την αναζήτηση των δεδομένων και την κατάλληλη επεξεργασία ώστε να εισαχθούν στο λογισμικό, πραγματοποιείται μια κατηγοριοποίηση όλων των παραμέτρων, με κριτήριο αν τα μεγέθη αφορούν σε φυσικά χαρακτηριστικά/μετρούμενες παραμέτρους της περιοχής ή σε παραμέτρους βαθμονόμησης (Πίνακας 5 και Πίνακας 6). Ειδικότερα, οι παράμετροι που αντιπροσωπεύουν φυσικά χαρακτηριστικά ταξινομούνται ανάλογα με την χωρική κλίμακα που χρησιμοποιεί το μοντέλο για να διεξάγει τους υπολογισμούς.

Πίνακας 5 Παράμετροι που αναπαριστούν φυσικά και δομικά χαρακτηριστικά

Χωρική κλίμακα	Όνομα παραμέτρου	Μονάδα μέτρησης	Πηγή δεδομένων
Unit Block Scale	Number of unit blocks	Αριθμός	Δημογραφικά Δεδομένα
	Average household occupancy	Αριθμός Ατόμων	Δημογραφικά Δεδομένα
	Area of unit block	m ²	Ψηφιακοί χάρτες Εικόνες δορυφόρου
	Area of unit block garden	m ²	Ψηφιακοί χάρτες/Εκτιμήσεις

Χωρική κλίμακα	Όνομα παραμέτρου	Μονάδα μέτρησης	Πηγή δεδομένων
			Εικόνες δορυφόρου
	Area of unit block roof	m ²	Ψηφιακοί χάρτες/Εκτιμήσεις Εικόνες δορυφόρου
	Area of unit block pavement	m ²	Ψηφιακοί χάρτες/Εκτιμήσεις Εικόνες δορυφόρου
	Percentage of garden irrigated	m ²	Εκτίμηση
Cluster Scale	Total Area	m ²	Ψηφιακοί χάρτες
	Road area	m ²	Ψηφιακοί χάρτες/Εκτιμήσεις
	Open space area	m ²	Ψηφιακοί χάρτες Εικόνες δορυφόρου
	Percentage of public open space irrigated	Ποσοστό %	Εκτίμηση
	Water supply leakage	Ποσοστό %	Βιβλιογραφικές πηγές
Catchment Scale	Catchment Area		Ψηφιακοί χάρτες

Πίνακας 6 Παράμετροι βαθμονόμησης

Παράμετρος Βαθμονόμησης	Όνομα παραμέτρου	Μονάδα μέτρησης	Πηγή δεδομένων
Stormwater	Maximum soil store capacity	mm	Βαθμονόμηση
	Soil store capacity	mm	Βαθμονόμηση
	Maximum depth	mm	Βαθμονόμηση
	Roof area maximum initial loss	mm	Βαθμονόμηση
	Effective roof area	mm	Βαθμονόμηση
	Paved area maximum initial loss	mm	Βαθμονόμηση
	Effective paved area	mm	Βαθμονόμηση
	Road area maximum initial loss	mm	Βαθμονόμηση
	Effective road area	mm	Βαθμονόμηση
Wastewater	Infiltration index	Ποσοστό %	Βιβλιογραφία
	Infiltration recession store	Ποσοστό %	Βαθμονόμηση

Παράμετρος Βαθμονόμησης	Όνομα παραμέτρου	Μονάδα μέτρησης	Πηγή δεδομένων
	Percentage of urban runoff as inflow	Ποσοστό %	Βιβλιογραφία
Irrigation	Garden trigger to irrigate	Ποσοστό %	Βαθμονόμηση
	Public Open space trigger to irrigate	Ποσοστό %	Βαθμονόμηση

4.3.4 Δεδομένα παροχών πόσιμου νερού, υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του Aquacycle αφορούν σε τρία διαφορετικά επίπεδα διαχείρισης, τη Μονάδα Κατανάλωσης (Unit Block), το Συγκρότημα (Cluster) και τη συνολική Αστική Περιοχή (Catchment). Μερικά από τα μεγέθη που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι η ζήτηση νερού ύδρευσης, τα υγρά απόβλητα, η επιφανειακή απορροή ομβρίων υδάτων, η ζήτηση νερού για κάλυψη αρδευτικών αναγκών κτλ. Για να επιτευχθεί επαλήθευση των αποτελεσμάτων και να διαπιστωθεί η επιτυχής προσομοίωση του μοντέλου απαιτούνται τα αντίστοιχα δεδομένα για κάθε προαναφερθέν μέγεθος.

Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης επιλέχθηκε να γίνει στο επίπεδο της συνολικής Αστικής Περιοχής (Catchment). Για το επίπεδο αυτό τα σημαντικότερα μεγέθη που παράγει το μοντέλο είναι:

- Η ζήτηση νερού δικτύου ύδρευσης
- Η παραγωγή υγρών αποβλήτων
- Η απορροή ομβρίων υδάτων

Από τα μεγέθη που αναφέρονται παραπάνω αυτά που συγκρίθηκαν με πραγματικές μετρήσεις ώστε να γίνει επαλήθευση των υπολογισμών είναι:

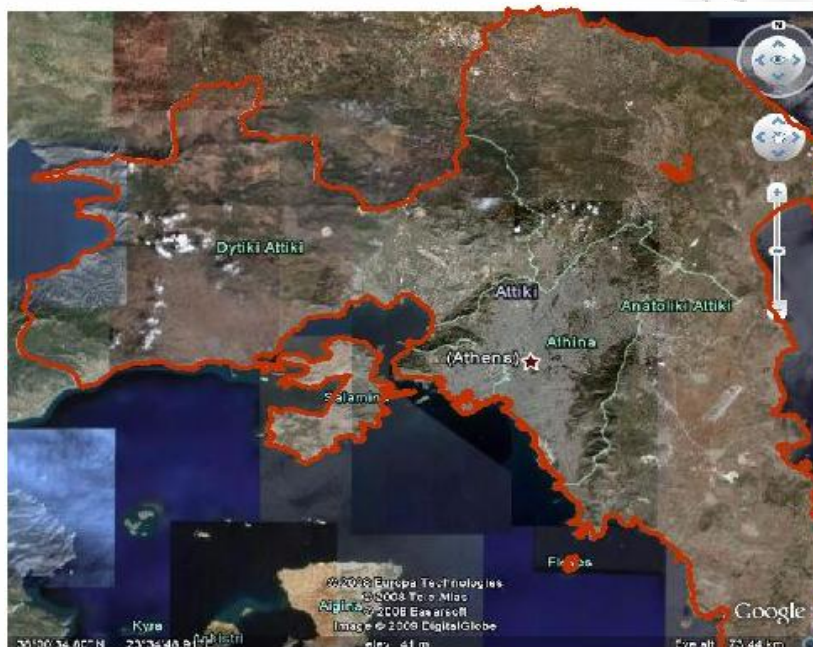
- Η ζήτηση νερού δικτύου ύδρευσης
- Η παραγωγή υγρών αποβλήτων

Ειδικότερα, για την επαλήθευση των υπολογιζόμενων ημερήσιων τιμών παροχής νερού δικτύου ύδρευσης χρησιμοποιούνται ημερήσιες τιμές παροχών νερού από τις 4 Μονάδες Επεξεργασίας Νερού, (Γαλάτσι, Μενίδι, Κιούρκα, Ασπρόπυργος) για το έτος 2005. Οι τιμές παροχών από κάθε μονάδα αθροίστηκαν και προέκυψε η συνολική τιμή παροχής που αντιστοιχεί σε όλη την υπό μελέτη περιοχή Αστική Περιοχή. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των ημερήσιων τιμών παροχής υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρούμενες τιμές παροχών των υγρών αποβλήτων που εισέρχονται στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας, για το έτος 2005.

Όσον αφορά στις τιμές παροχών της επιφανειακής απορροής ομβρίων υδάτων δεν υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις συνεπώς δεν δίνεται η δυνατότητα επαλήθευσής τους.

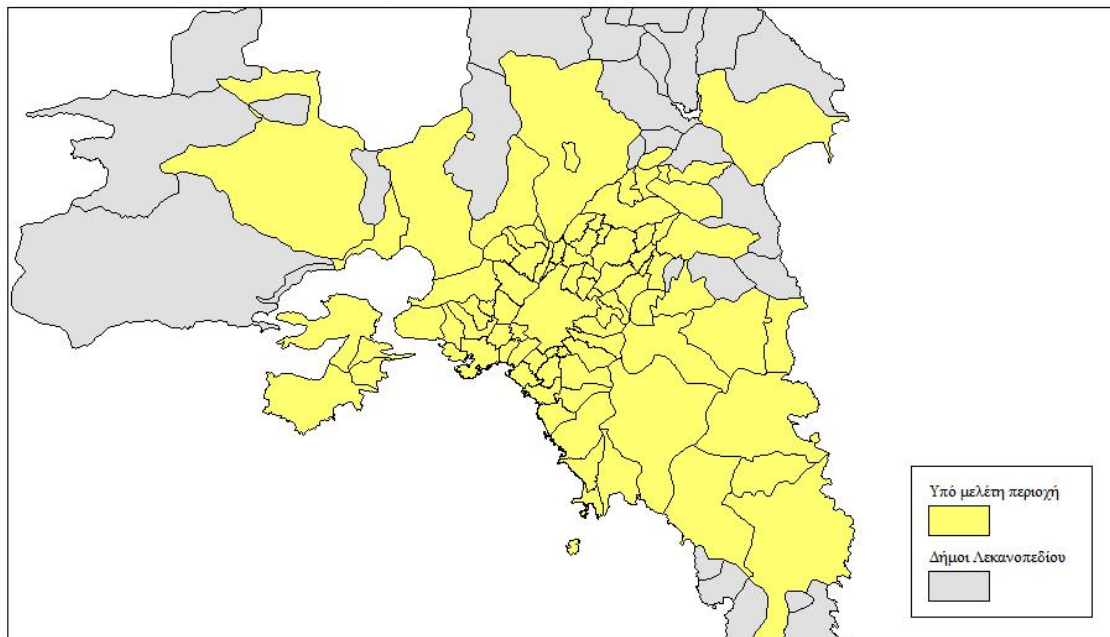
4.4 Επιλογή των ορίων της υπό μελέτη περιοχής

Η περιοχή στην έκταση της οποίας γίνεται η μελέτη και αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης νερού είναι αυτή που περικλείεται από τα όρια του Λεκανοπεδίου Αττικής. Τα όρια του Λεκανοπεδίου παρουσιάζονται στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28 Όρια Λεκανοπεδίου Αττικής

Ειδικότερα, κριτήριο καθορισμού των ορίων της περιοχής αποτελεί η διαθεσιμότητα των δεδομένων, βάσει των οποίων θα γίνει η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Από τη συνολική έκταση που περικλείεται στα όρια του Λεκανοπεδίου, επιλέγεται η περιοχή που ανήκει στην αρμοδιότητα της ΕΥΔΑΠ, (Εικόνα 29), καθώς για την περιοχή αυτή υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από τις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού και τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Ψυττάλειας.



Εικόνα 29 Περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ

Αναλυτικότερα, η περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ καλύπτει τα διοικητικά όρια των εξής Δήμων και Κοινοτήτων τους οποίους υδρεύει είτε απευθείας είτε με μεγάλες παροχές : Αγ. Αναργύρων, Αγ. Βαρβάρας, Αγ. Δημητρίου, Αγ. Ιωάννη Ρέντη, Αγ. Παρασκευής, Αθηνών, Αιαντείου Σαλαμίνας, Αιγάλεω, Αλίμου, Αμαρουσίου, Αργυρούπολης, Αχαρνών, Βάρης, Βούλας, Βουλιαγμένης, Βύρωνος, Γαλατσίου, Γλυκών Νερών, Γλυφάδας, Δάφνης, Δραπετσώνας, Ελληνικού, Ζεφυρίου, Ζωγράφου, Ηλιούπολης, Ηρακλείου, Θρακομακεδόνων, Καισαριανής, Καλλιθέας, Καματερού, Καματερού (Συνοικ/σμός Δήμου Αμπελακίων Ν. Σαλαμίνας), Κάντζας, Κερατσινίου, Κηφισιάς, Κορυδαλλού, Μελισσίων, Μεταμόρφωσης, Μοσχάτου, Νίκαιας, Ν. Ιωνίας, Ν. Λιοσίων (Ίλιον), Ν. Πεντέλης, Ν. Σμύρνης, Ν. Φιλαδέλφειας, Ν. Χαλκηδόνας, Ν. Ψυχικού, Π. Φαλήρου, Παπάγου, Πεντέλης, Πειραιά, Περάματος, Περιστερίου, Πετρούπολης, Πεύκης, Σαλαμίνας, Σεληνίων (Δήμος Αμπελακίων), Ταύρου, Υμηττού, Φιλοθέης, Χαϊδαρίου, Χαλανδρίου, Χολαργού, Ψυχικού, Άνοιξης, Άνω Λιοσίων, Ασπροπύργου, Αρτέμιδος, Βριλησίων, Γέρακα, Διονύσου, Δροσιάς, Εκάλης, Ελευσίνιας, Καλυβίων, Κερατέας, Κορωπίου, Κουβαρά, Λυκόβρυσης, Μάνδρας, Μαραθώνα, Μαρκοπούλου, Μπάλας (Ροδόπολης), Ν. Ερυθραίας, Παιανίας, Σπάτων.

4.5 Διαδικασία διαχωρισμού της περιοχής σε Συγκροτήματα (Clusters)

Η συνολική έκταση κατανέμεται περαιτέρω σε μικρότερες περιοχές που αντιπροσωπεύουν τη δυνατότητα μικρότερων και πιο ευέλικτων επιπέδων διαχείρισης νερού στην περιοχή. Κάθε τέτοια μικρότερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ομοιογένεια ως προς μια σειρά ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών.

Η έννοια της ομοιογένειας εκφράζεται μέσω ενός συνόλου επαναλαμβανόμενων και όμοιων ως προς κάποιες ιδιότητες Μονάδων Κατανάλωσης (Unit Blocks). Οι ιδιότητες αυτές είναι δυνατό να αναφέρονται σε χαρακτηριστικά όπως ο τύπος χρήσης γης (πχ. κτήρια κατοικιών, βιομηχανικά κτήρια, δημόσια κτήρια), ή η μορφή δόμησης (μονοκατοικίες, πολυώροφα κτήρια, πράσινοι χώροι κτλ.)

Κριτήριο για να διαχωριστεί μια περιοχή σε Συγκροτήματα μπορεί να αποτελέσει ακόμα και ο τύπος του συστήματος αποχέτευσης (χωριστικό ή παντοροϊκό), ιδιότητα που διαφοροποιεί μια περιοχή από μια άλλη ως προς την ποσότητα των ομβρίων υδάτων και των υγρών αποβλήτων που απορρέουν από αυτή υπό τη μορφή εξερχόμενων παροχών.

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός της συνολικής έκτασης σε Συγκροτήματα ήταν κατά βάση δομικού χαρακτήρα. Η χρήση ψηφιακών χαρτών (οδικού δικτύου, χρήσεων γης, εκτάσεων δήμων) και δορυφορικών εικόνων έδωσε την πληροφορία ώστε να γίνει η κατάτμηση της συνολικής αστικής έκτασης σε επιμέρους περιοχές.

Μετά το διαχωρισμό της υπό μελέτη περιοχής σε Συγκροτήματα γίνεται ο καθορισμός των παραμέτρων τους μέσω των οποίων εκφράζονται οι ιδιότητές τους και οι οποίες αφορούν σε δομικά/οικιστικά χαρακτηριστικά ή μπορεί να εκφράζουν τον τύπο και τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης.

Οι χάρτες οδικού δικτύου δίνουν την πληροφορία για το μήκος του οδικού δικτύου της περιοχής από την οποία υπολογίζεται έμμεσα η έκταση δρόμων.

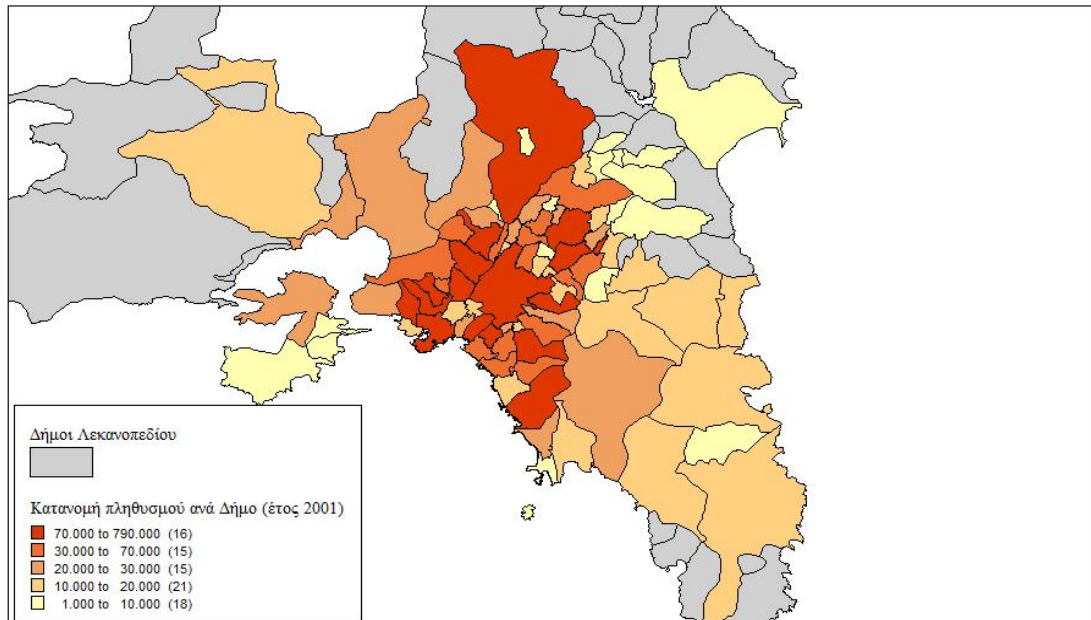
Από τον ψηφιακό χάρτη των χρήσεων γης (CORINE), αντλήθηκε η πληροφορία σχετικά με την επιλογή της έκτασης που έχει καθαρά αστικό χαρακτήρα, αποτελείται δηλαδή κατά βάση από οικιακούς καταναλωτές. Επίσης από το χάρτη των χρήσεων γης και με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων (Google Earth) προέκυψαν και εκτιμήσεις για τις εκτάσεις των ανοικτών περιοχών για τις οποίες το μοντέλο εκτιμά τις αρδευτικές ανάγκες.

Οι χάρτες που παρατίθενται στη συνέχεια, απεικονίζουν ψηφιακά τους δήμους και έχουν στη βάση δεδομένων τους ένα σύνολο πληροφοριών όπως ο πληθυσμός, ο αριθμός κτηρίων, ο αριθμός νοικοκυριών και η έκταση.

4.5.1 Κατανομή Πληθυσμού

Η πληροφορία για τον πληθυσμό κάθε δήμου διατίθεται μέσω δημογραφικών δεδομένων που προσφέρονται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία για το έτος 2001. Από την Εικόνα 30 φαίνεται ότι ο μεγαλύτερος πληθυσμός συγκεντρώνεται στους δήμους που βρίσκονται στο κέντρο της περιοχής ενώ μειώνεται διαδοχικά για τους

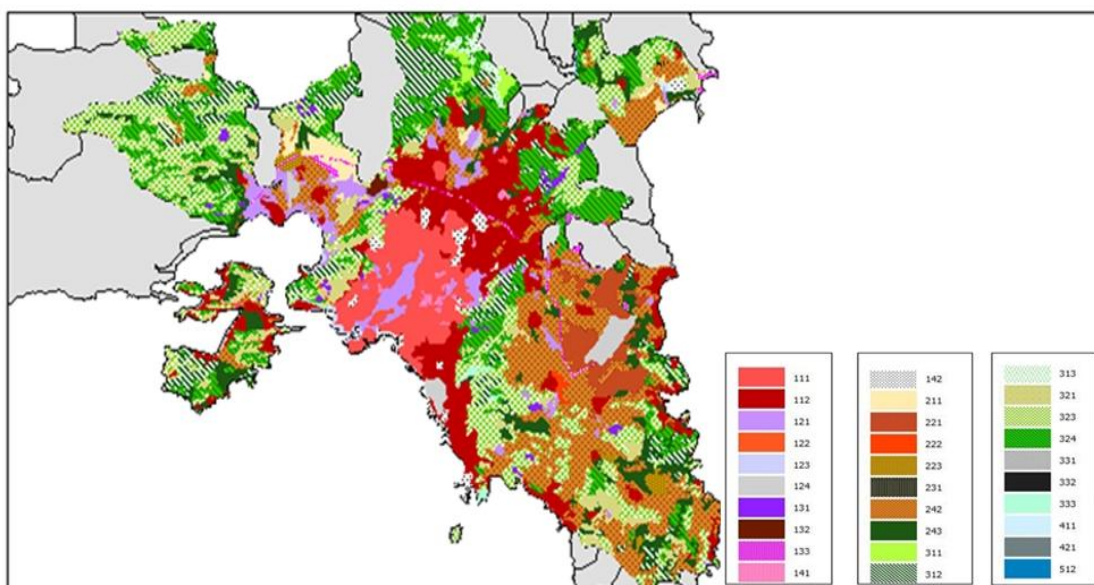
δήμους των προαστίων. Το δεδομένο του πληθυσμού ανά Δήμο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον αριθμό κτηρίων ανά Δήμο ώστε να προκύψει η δυναμικότητα του της Μονάδας Κατανάλωσης που αποτελεί μετρούμενη παράμετρο του Aquacycle.



Εικόνα 30 Κατανομή πληθυσμού στην υπό μελέτη περιοχή

4.5.2 Κατηγορίες Χρήσεων Γης

Η περιοχή χαρακτηρίζεται κυρίως από ζώνες με αστική και ημιαστική οικοδόμηση και πιο αραιά από βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες. Στην περιφέρεια εντοπίζονται περιοχές με χαμηλή και ασυνεχή βλάστηση, οι οποίες στη συνέχεια θα εξαιρεθούν από τους υπολογισμούς αφού δεν έχουν αστικό χαρακτήρα (CORINE) (Εικόνα 31).



Εικόνα 31 Ψηφιακή απεικόνιση χρήσεων γης του CORINE

Οι κατηγορίες χρήσεων γης παρατίθενται στο υπόμνημα. (Οι κωδικοί που αντιστοιχούν σε κάθε τύπο χρήσης γης επεξηγούνται στο Παράρτημα)

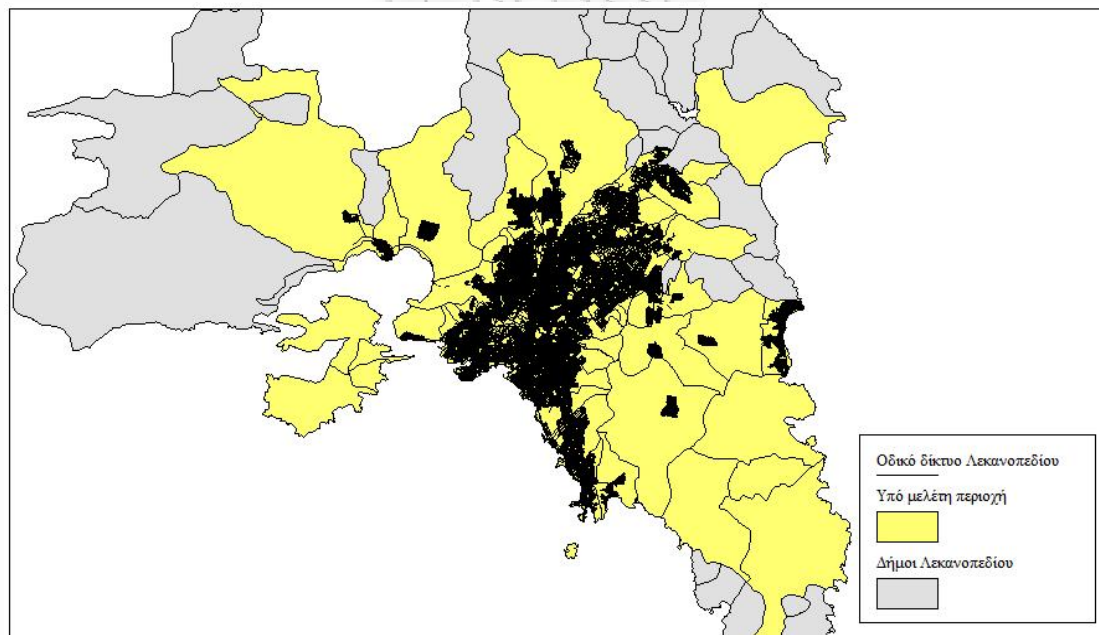
4.5.3 Επιλογή έκτασης αστικού τύπου

Το Aquacycle πρόκειται για ένα υπολογιστικό εργαλείο που προσομοιώνει τα χαρακτηριστικά του υδατικού κύκλου σε αστικές περιοχές. Από τη συνολική περιοχή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 29 μόνο ένα μέρος της είναι αστικού τύπου. Για το λόγο αυτό προσδιορίζεται για κάθε Δήμο η έκταση που έχει αμιγώς αστικό χαρακτήρα ενώ εξαιρείται από τους υπολογισμούς οποιαδήποτε άλλη έκταση.

Οι πληροφορίες που αποτέλεσαν πηγές ώστε να προσδιοριστούν και να επιλεγούν οι εκτάσεις αστικού τύπου είναι οι ακόλουθοι ψηφιακοί χάρτες:

- Η χρήση ψηφιακού χάρτη που απεικονίζει το οδικό δίκτυο της Αθήνας αποτελεί μια ικανοποιητική ένδειξη για τις εκτάσεις που καλύπτονται από αστική δόμηση. Ο διαθέσιμος χάρτης του οδικού δικτύου είναι προγενέστερος του έτους για το οποίο πραγματοποιείται η προσομοίωση (2005), (Εικόνα 32), και παρουσιάζει αποκλίσεις από τη σημερινή κατάσταση, όμως μπορεί να αποτελέσει ικανοποιητική βάση για τους υπολογισμούς.
- Ο ψηφιακός χάρτης CORINE που απεικονίζει τους τύπους χρήσεων γης δίνει πληροφορίες για τις εκτάσεις αστικού τύπου. (Εικόνα 33).

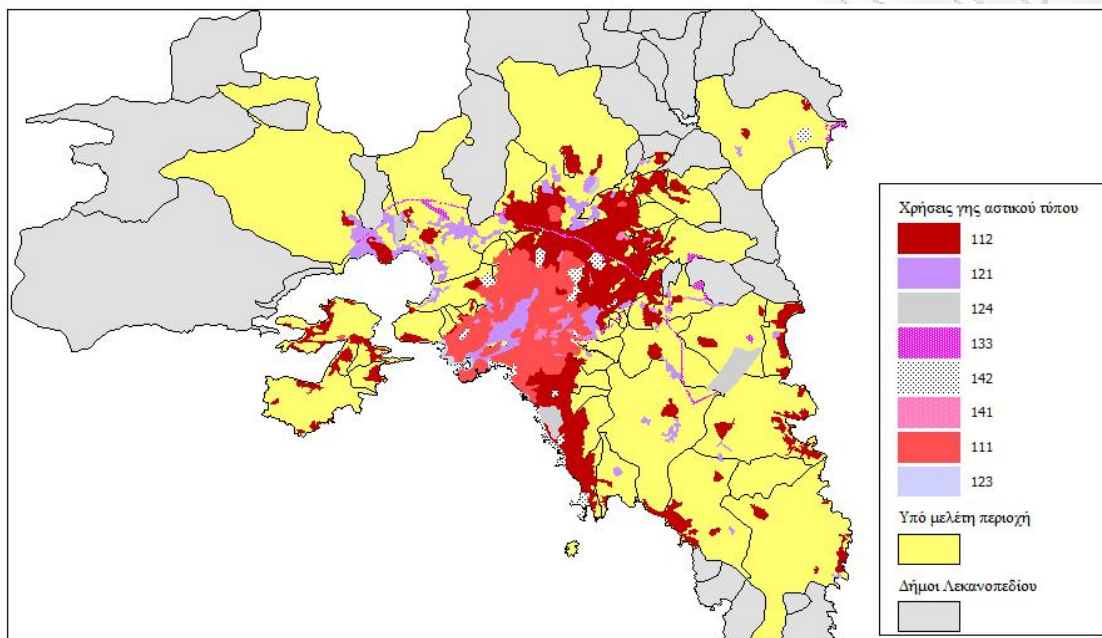
Η Εικόνα 32 απεικονίζει το οδικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου Αττικής.



Εικόνα 32 Απεικόνιση ψηφιακού χάρτη οδικού δικτύου

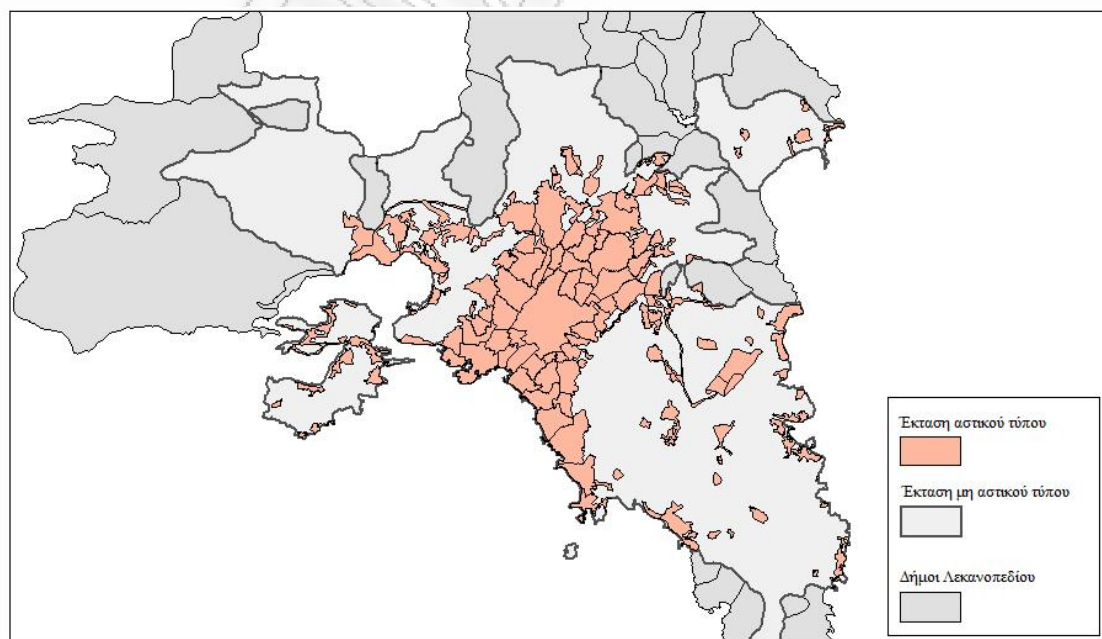
Από τις πληροφορίες που παρέχουν οι παραπάνω ψηφιακοί χάρτες προκύπτει η έκταση κάθε δήμου που είναι καθαρά αστικού τύπου. Εξαιρούνται από την υπό μελέτη περιοχή όσες χαρακτηρίζονται μη αστικές όπως π.χ. ορεινές περιοχές, περιοχές με βλάστηση και αγροτικές περιοχές ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Στην Εικόνα 33 έχουν επιλεγεί εκείνες οι περιοχές της συνολικής αστικής περιοχής που έχουν αμιγώς αστικό χαρακτήρα και είναι περιοχές με συνεχή αστική οικοδόμηση, διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, χώροι οικοδόμησης, περιοχές αστικού πρασίνου και εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής, σύμφωνα με τις πληροφορίες του υπομνήματος του CORINE.



Εικόνα 33 Απεικόνιση χρήσεων γης αστικού τύπου

Με βάση τις πληροφορίες που προέκυψαν από τους χάρτες διαμορφώνεται τελικά η έκταση κάθε Δήμου που χαρακτηρίζεται ως καθαρά αστική περιοχή και η οποία θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς. (Εικόνα 34)



Εικόνα 34 Επιλογή αστικών εκτάσεων

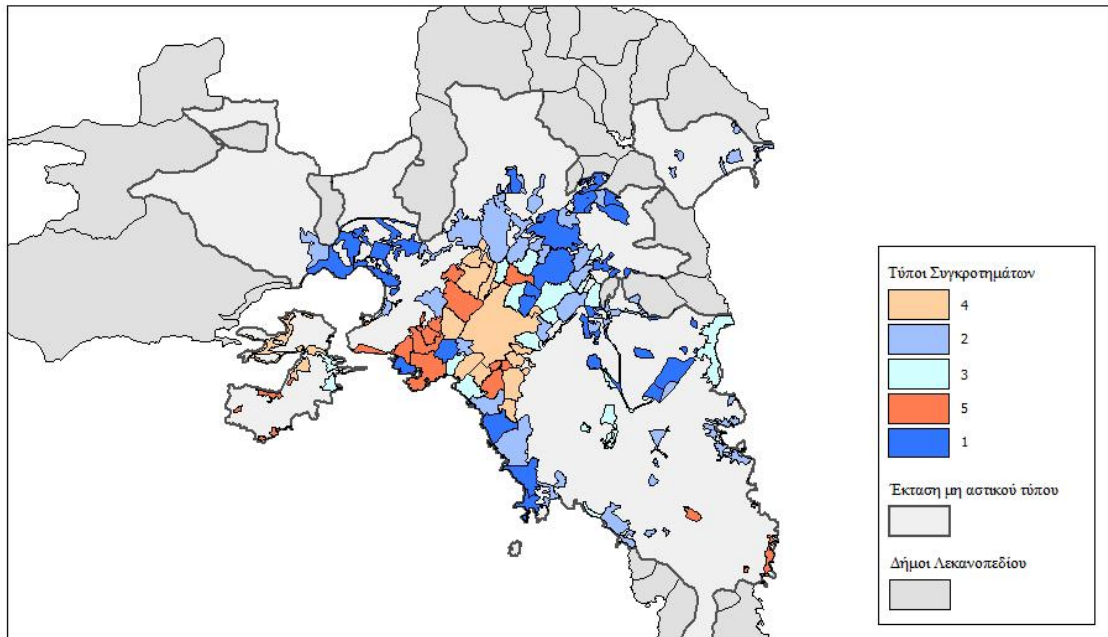
Η περιοχή της Αθήνας διαχωρίζεται σε επιμέρους Συγκροτήματα σύμφωνα με τις ανάγκες του μοντέλου ώστε να μελετηθεί η επίδραση της εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα. Κριτήριο διαχωρισμού αποτελεί η «πυκνότητα δόμησης», μέγεθος που εκφράζεται με τον αριθμό των κτηρίων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο αστικής περιοχής. Ως μικρότερη κλίμακα κατανάλωσης για την περίπτωση της Αθήνας θεωρήθηκε το κτήριο καθώς αποτελεί τη μικρότερη κλίμακα διαχείρισης στην οποία μπορούν να εφαρμοστούν οι πρακτικές εξοικονόμησης νερού.

Αρχικά για κάθε έναν από τους 85 δήμους που συνιστούν την υπό μελέτη περιοχή επιλέγεται μόνο η αμιγώς αστική έκταση. Στη συνέχεια με βάση το κριτήριο της «πυκνότητας δόμησης» η αστική έκταση κάθε δήμου κατηγοριοποιείται σε έναν από τους 5 διαφορετικούς τύπους Συγκροτημάτων. Για κάθε τύπο Συγκροτήματος γίνεται η παραδοχή ότι αντιπροσωπεύει και έναν διαφορετικό τύπο δόμησης (Εικόνα 35, Πίνακας 7).

Πίνακας 7 Τύποι Συγκροτημάτων

Κατηγορία Συγκροτήματος	Αριθμός κτηρίων ανά km²	Αριθμός Δήμων ανά κατηγορία
Τύπος 1	300-800	21
Τύπος 2	800-1100	19
Τύπος 3	1100-1600	16
Τύπος 4	1600-2200	15
Τύπος 5	2200-4000	14

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η αστική έκταση καθενός από τους 85 Δήμους του Λεκανοπεδίου με διαφορετικό χρωματισμό σύμφωνα με τον Τύπο Συγκροτήματος στον οποίο ανήκει.

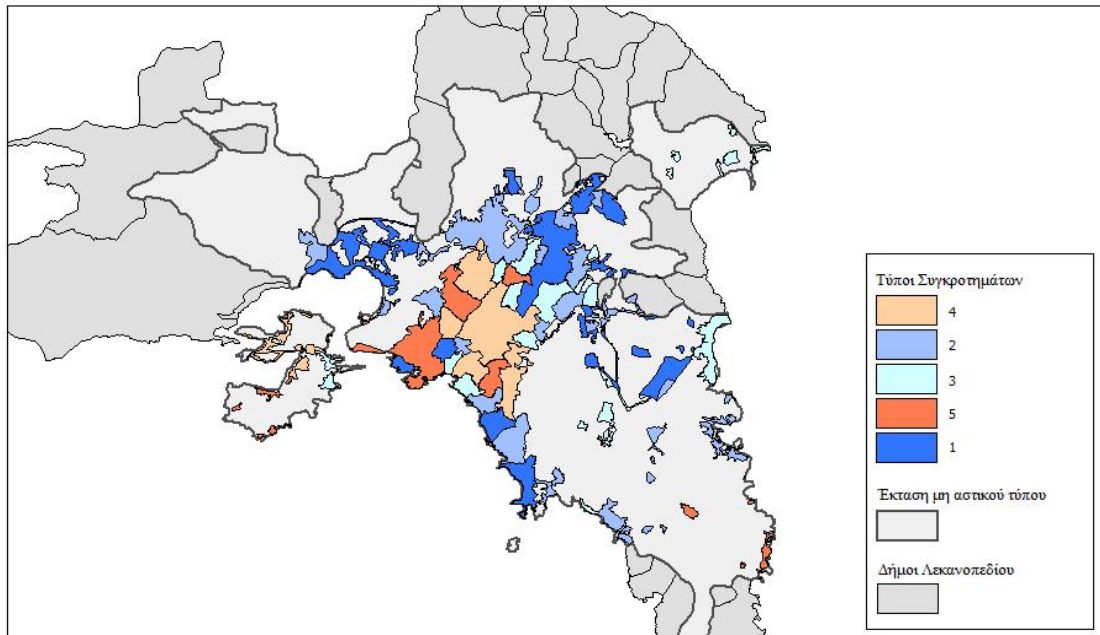


Εικόνα 35 Κατηγοριοποίηση των περιοχών σύμφωνα με το κριτήριο διαχωρισμού

Για τις περιοχές που είναι γειτονικές και ανήκουν στον ίδιο τύπο Συγκροτήματος γίνεται η παραδοχή ότι αποτελούν ένα ενιαίο συγκρότημα. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η τελική διαμόρφωση των Συγκροτημάτων. Η σύμπτυξη των εφαπτόμενων περιοχών ίδιου τύπου έχει ως αποτέλεσμα από τους 85 Δήμους να προκύψουν τελικά 52 ανεξάρτητα Συγκροτήματα, (Εικόνα 36 (α & β)).



Εικόνα 36 (α) Η τελική διαμόρφωση των 52 Συγκροτημάτων



Εικόνα 36 (β) Η τελική διαμόρφωση των 52 Συγκροτημάτων

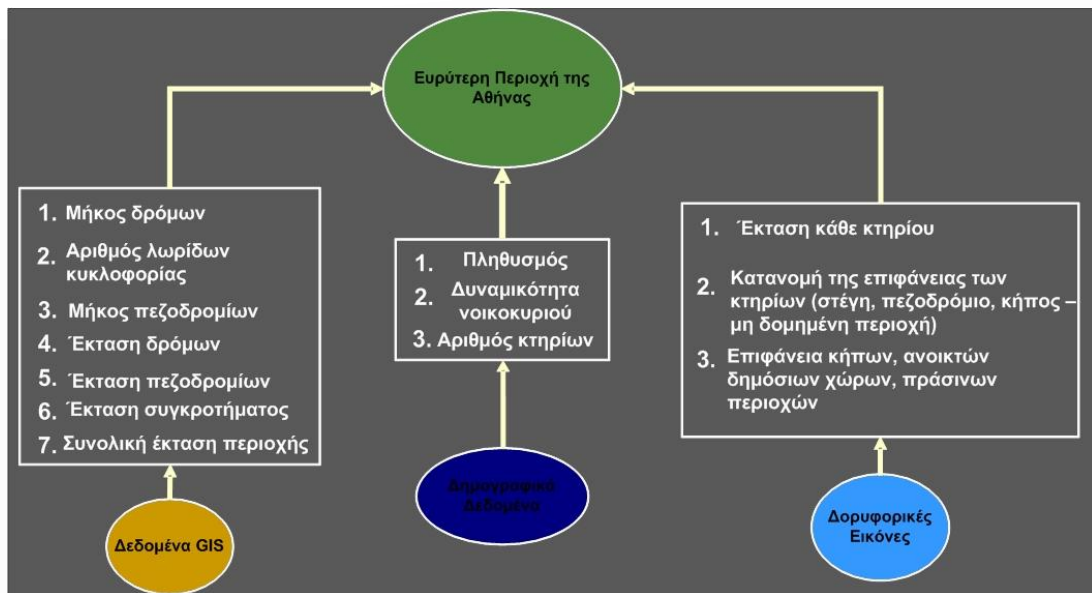
4.6 Προσδιορισμός Μετρούμενων Παραμέτρων του Aquacycle για την υπό μελέτη περιοχή

Μετά το διαχωρισμό της συνολικής περιοχής σε Συγκροτήματα ακολουθεί ο προσδιορισμός των μετρούμενων παραμέτρων του μοντέλου. Αυτές οι παράμετροι αντιπροσωπεύουν ιδιότητες που σχετίζονται με φυσικά και δομικά χαρακτηριστικά των Συγκροτημάτων, (Εικόνα 37).

Για τη συλλογή των δεδομένων αυτών χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακοί χάρτες οδικού δικτύου, χρήσεων γης (CORINE) και γεωγραφικών ορίων δήμων για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Η χρήση του ψηφιακού χάρτη οδικού δικτύου συνεισέφερε στον υπολογισμό της έκτασης των δρόμων (Road Area) και της έκτασης των πλακόστρωτων περιοχών/πεζοδρομίων (Pavement Area). Επίσης στους ψηφιακούς χάρτες των δήμων και των χρήσεων γης, σε συνδυασμό με εικόνες δορυφόρου βασίστηκαν και οι εκτιμήσεις της έκτασης των ανοικτών δημόσιων χώρων καθώς κατασκευάστηκε ένας νέος ψηφιακός χάρτης μετά από παρατήρηση και προσδιορισμό των περιοχών αυτών, (Karka et al., 2007).

Στις πληροφορίες που παρείχαν οι δορυφορικοί χάρτες βασίστηκαν παρατηρήσεις σχετικά με τις διαφοροποιήσεις στη δόμηση και χρησιμοποιήθηκαν για να επαληθευτεί ο διαχωρισμός της περιοχής σε Συγκροτήματα σύμφωνα με το κριτήριο της πυκνότητας δόμησης.

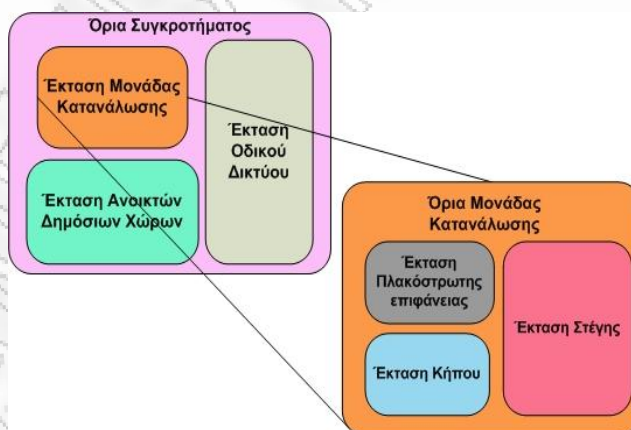
Τέλος χρησιμοποιήθηκαν δημογραφικά δεδομένα σε επίπεδο Δήμου που δίνουν μια σαφέστερη εικόνα της κατανάλωσης ή των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την ύδρευση και την αποχέτευση της περιοχής. Τα δεδομένα αυτά είναι ο πληθυσμός ανά δήμο, αριθμός κτηρίων ανά δήμο, ο αριθμός νοικοκυριών, κτλ (δεδομένα ΕΣΥΕ, 2001).



Εικόνα 37 Συλλογή δεδομένων που αφορούν σε μετρούμενες παραμέτρους του μοντέλου

4.6.1 Παράμετροι Συγκροτήματος

Στην Εικόνα 38 παρουσιάζεται η κατανομή χρήσεων γης στα όρια ενός Συγκροτήματος σε επιφάνειες που καλύπτονται από κτήρια, από οδικό δίκτυο και ανοικτές περιοχές. Η επιφάνεια που καλύπτεται από κτήρια αναλύεται επιπλέον στη στέγη, την πλακόστρωτη περιοχή - πεζοδρόμιο και τον κήπο - περιοχή που δεν καλύπτεται από δόμηση. Για κάθε τέτοια κατηγορία επιφάνειας υπάρχουν και οι αντίστοιχες παράμετροι που τις χαρακτηρίζουν.



Εικόνα 38 Κατανομή χρήσεων γης στην κλίμακα του Cluster

Στον Πίνακα 8 περιλαμβάνονται οι μετρούμενες παράμετροι του Συγκροτήματος.

Πίνακας 8 Παράμετροι Συγκροτήματος (Cluster)

Επίπεδο Συγκροτήματος (Cluster)	Πηγή Δεδομένων
Συνολική έκταση συγκροτήματος (Total area of cluster)	Ψηφιακοί χάρτες
Έκταση δρόμων (Road area)	Ψηφιακοί χάρτες/Εκτιμήσεις
Έκταση ανοικτών δημόσιων χώρων (Area of public open space)	Ψηφιακοί χάρτες/Δορυφορικές εικόνες
Ποσοστό αρδευόμενης επιφάνειας ανοικτών δημόσιων χώρων (Per cent of public open space irrigated as a %)	Εκτίμηση
Απώλειες δικτύου ύδρευσης (Water supply leakage rate)	Εκτίμηση/Βιβλιογραφία
Cluster stormwater output flows into cluster No? specific cluster number or 0	0
Cluster wastewater output flows into Cluster No? specific cluster number or 0	0

Ειδικότερα, η τιμή της έκτασης κάθε Συγκροτήματος, (Total area of cluster) μετρήθηκε μέσω του ψηφιακού χάρτη που κατασκευάστηκε και παρουσιάζει τη διαμόρφωση των 52 Συγκροτημάτων.

Η έκταση των δρόμων (Road area) προέκυψε έμμεσα, (Πίνακας 9). Οι τιμές της έκτασης του οδικού δικτύου ανά Συγκρότημα βασίστηκαν σε μεγάλο βαθμό σε εκτιμήσεις, καθώς δεν υπήρξαν διαθέσιμοι ψηφιακοί χάρτες ανάλυσης χρήσεων γης πληροφορίας σε τέτοιο βαθμό ακρίβειας που να επιτρέπεται η διεξαγωγή των τιμών αυτών.

Πίνακας 9 Υπολογισμός έκτασης οδικού δικτύου

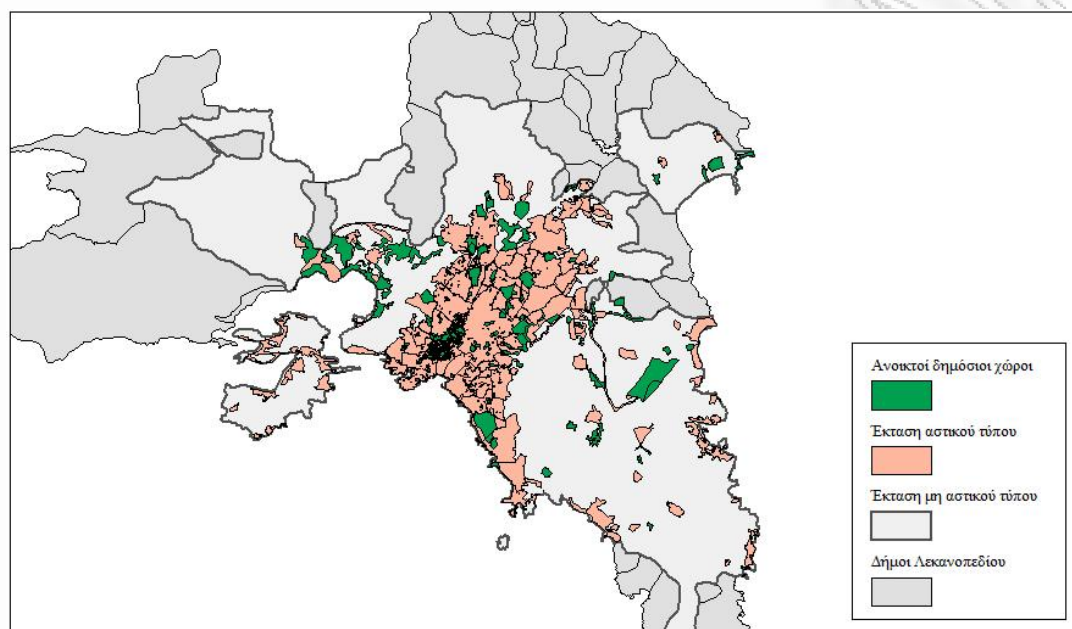
Τύπος Συγκροτήματος					
	1	2	3	4	5
1.Μήκος δρόμων (km)	Ψηφιακοί χάρτες				
2.Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας	4	4	3,5	3	3
3. Μήκος λωρίδας κυκλοφορίας (m)	3	3	3	3	3
Έκταση οδικού δικτύου (m²)	Μήκος δρόμων × Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας× Μήκος λωρίδας κυκλοφορίας				

Ποιο συγκεκριμένα για να προκύψει η έκταση των δρόμων για κάθε Συγκρότημα μετρήθηκε το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου που ανήκει σε κάθε Συγκρότημα από τον αντίστοιχο ψηφιακό χάρτη. Στη συνέχεια αποδόθηκε μια εκτίμηση για τη μέση τιμή του αριθμού και του πλάτους των λωρίδων κυκλοφορίας βασισμένη σε παραδοχές. Για το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας αποδόθηκε τιμή ίση με 3m ενώ για τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας δόθηκε η τιμή 4 για τα Συγκροτήματα τύπου 1 και 2, η τιμή 3,5 για τα Συγκροτήματα τύπου 3 και 3 για τα Συγκροτήματα τύπου 4 και 5. Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε η έκταση των δρόμων ως το γινόμενο του μήκους του οδικού δικτύου με το πλάτος και τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας.

Σχετικά με την έκταση των ανοικτών δημόσιων χώρων δεν υπήρξε διαθέσιμη πληροφορία που να προέρχεται άμεσα από σχετικό ψηφιακό χάρτη. Για να προκύψουν αντιπροσωπευτικές τιμές των εκτάσεων των ανοικτών δημόσιων χώρων, οι περιοχές αυτές χαράχθηκαν με βάση την παρατήρηση δορυφορικών εικόνων σε

έναν νέο ψηφιακό χάρτη που απεικονίζει τους ανοικτούς δημόσιους χώρους, (Εικόνα 39).

Η παράμετρος που υποδηλώνει το ποσοστό των περιοχών που αρδεύονται (Percent of public open space irrigated as a %) αποδίδεται μέσω εκτιμήσεων καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.



Εικόνα 39 Ψηφιακός χάρτης ανοικτών δημόσιων χώρων

Το ποσοστό απωλειών του δικτύου ύδρευσης (Water supply leakage rate) αναζητήθηκε σε βιβλιογραφικές πηγές και πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου ύδρευσης της Αθήνας και αποδόθηκε ένα ποσοστό απωλειών ίσο με 20% (ΕΥΔΑΠ, 2005).

Τέλος μέσω των παραμέτρων «Cluster stormwater output flows into cluster No? specific cluster number or 0» και «Cluster wastewater output flows into Cluster No? specific cluster number or 0» υποδηλώνεται ότι δεν υπάρχει καμιά ανταλλαγή παροχών υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων μεταξύ των Συγκροτημάτων.

4.6.2 Παράμετροι Μονάδας Κατανάλωσης

Η ελάχιστη κλίμακα διαχείρισης ως προς την οποία το Aquacycle πραγματοποιεί υπολογισμούς είναι η Μονάδα Κατανάλωσης (Unit Block). Πρόκειται για την κλίμακα διαχείρισης που αναπαρίσταται από μια οικία, μια εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα. Η έκταση της Μονάδας Κατανάλωσης σύμφωνα με το Aquacycle επιμερίζεται σε εκτάσεις που είναι: η στέγη, η πλακόστρωτη περιοχή (πεζοδρόμιο) και ο κήπος. Στην περίπτωση της Αθήνας η ελάχιστη κλίμακα ως προς την οποία γίνεται η διαχείριση θεωρείται το κάθε κτήριο.

Πίνακας 10 Παράμετροι Μονάδας Κατανάλωσης

Επίπεδο Μονάδας Κατανάλωσης	Πηγή Δεδομένων
Αριθμός κτηρίων ανά Συγκρότημα (No of blocks in a cluster)	Δημογραφικά δεδομένα
Μέση δυναμικότητα νοικοκυριού (Average household occupancy)	Δημογραφικά δεδομένα
Έκταση κτηρίου (Area of unit block)	Εκτίμηση
Έκταση κήπου (Area of unit block garden)	Εκτίμηση
Έκταση στέγης (Area of unit block roof)	Εκτίμηση
Έκταση πλακόστρωτης περιοχής/πεζοδρομίου (Area of unit block pavement)	Εκτίμηση
Ποσοστό της έκτασης του κήπου που αρδεύεται (Per cent of unit block garden irrigated as a%)	Εκτίμηση

Ο αριθμός των κτηρίων ανά Συγκρότημα (No of blocks in a cluster) είναι διαθέσιμος από δημογραφικά δεδομένα, (ΕΣΥΕ, 2001). Η μέση δυναμικότητα ανά κτήριο υπολογίστηκε επίσης με τη βοήθεια δημογραφικών δεδομένων και προέκυψε από το λόγο του πληθυσμού προς τον αριθμό των κτηρίων ανά Συγκρότημα.

Η έκταση του κτηρίου (Area of Unit Block) είναι μια παράμετρος που εκφράζει τη μέση έκταση των κτηρίων που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο Συγκρότημα. Η τιμή αυτή υπολογίστηκε ως εξής: Είναι γνωστό πως η έκταση κάθε Συγκροτήματος αποτελείται από τις επιμέρους εκτάσεις του οδικού δικτύου, των ανοικτών δημόσιων χώρων και των κτηρίων (Μονάδων Κατανάλωσης), (Εικόνα 38). Η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν όλα τα κτήρια ενός Συγκροτήματος υπολογίστηκε έμμεσα ως η διαφορά της έκτασης κάθε Συγκροτήματος (της οποίας η τιμή είναι γνωστή από τον αντίστοιχο ψηφιακό χάρτη (Εικόνα 36)), από το άθροισμα των εκτάσεων που καταλαμβάνει το οδικό δίκτυο και οι ανοικτοί δημόσιοι χώροι, των οποίων ο τρόπος καθορισμού των τιμών τους έχει περιγραφεί προηγουμένως. Τελικά, η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν τα κτήρια διαιρείται με τον αριθμό των κτηρίων και προκύπτει η τιμή της έκτασης ανά κτήριο.

Η έκταση του κήπου (Area of unit block garden) και η έκταση της στέγης (Area of unit block roof) προέκυψαν βασιζόμενα στην παραδοχή ότι 95% της συνολικής έκτασης του κτηρίου καλύπτεται από στέγη και 5% από κήπο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση της Αθήνας που πρόκειται για μια κατά βάση αστική περιοχή η έκταση του κήπου υποδηλώνει γενικότερα την ύπαρξη μιας ελεύθερης ακάλυπτης έκτασης στα όρια κάθε κτίσματος.

4.7 Παράμετροι βαθμονόμησης του Aquacycle

Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης του μοντέλου καθορίστηκε η τιμή μιας ομάδας παραμέτρων, μέσω δοκιμής και σφάλματος, οι οποίες έχουν σημαντική βαρύτητα στον υπολογισμό των τιμών τριών μεγεθών (ζήτηση νερού, απορροή ομβρίων υδάτων και παραγωγή υγρών αποβλήτων). Αυτές οι παράμετροι σχετίζονται με διάφορες λειτουργίες του αστικού υδατικού κύκλου οι οποίες σχετίζονται με τη διαμόρφωση των τιμών της απορροής από αδιαπέρατες επιφάνειες, την εισροή υγρασίας και ομβρίων υδάτων στο σύστημα αποχέτευσης, το βαθμό υγρασίας του εδάφους των αρδευόμενων περιοχών κτλ.

4.7.1 Απορροή ομβρίων υδάτων

Παράμετροι απορροής αδιαπέρατων περιοχών

Η τιμή της παραμέτρου «Effective Area» εκφράζει το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής (στέγη, πλακόστρωτη περιοχή, δρόμος) που συνδέεται με το σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων. Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι δύσκολο να καθοριστεί και επιλέγεται κατ' εκτίμηση ίση με 100% ποσοστό που εκφράζει ότι όλη η απορροή των ομβρίων καταλήγει στο σύστημα συλλογής ομβρίων.

Η παράμετρος «Initial Loss» εξαρτάται από την τραχύτητα και το πορώδες της επιφάνειας και κατά συνέπεια από το είδος του υλικού. Η παράμετρος αυτής εισάγει την έννοια του χρόνου υστέρησης κατά τον οποίο η ποσότητα της βροχόπτωσης μετατρέπεται σε απορροή από την αδιαπέρατη επιφάνεια.

Όσο περισσότερο πορώδης είναι μια επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της παραμέτρου «Initial Loss». Για την περιοχή της Αθήνας καθώς δεν υπάρχουν τέτοια δεδομένα επιλέχθηκε μια ενδεικτική τιμή ίση με 0% που σημαίνει ότι η κατακρημνίσεις μετατρέπονται αμέσως σε απορροή ομβρίων.

Πίνακας 11 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό απορροής ομβρίων υδάτων

Όνομα Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου
Roof area maximum initial loss in mm	0
Effective roof area as a %	100
Paved area maximum initial loss in mm	0
Effective paved area as a %	100
Road area maximum initial loss in mm	0
Effective road area as a %	100

Παράμετροι εισροής υγρασίας του υπεδάφους στο σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων

Η παράμετρος «Base Flow Recession Constant» υποδηλώνει το ποσοστό της υγρασίας του υπεδάφους που εισέρχεται στο σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων μέσω ρωγμών του δικτύου και αστοχίας συνδέσεων. Καθώς δεν είναι διαθέσιμες τέτοιες πληροφορίες για την περίπτωση της Αθήνας καθίσταται δύσκολη η αντιστοίχιση της παραμέτρου αυτής με μια αντιπροσωπευτική τιμή. Στην παράμετρο αποδόθηκε τιμή ίση με 0,0025 (τιμή ίδια με εκείνη του παραδείγματος που περιλαμβάνεται στο πακέτο του λογισμικού Aquacycle) για όλα τα Συγκροτήματα και δείχνει ότι τελικά το 0,25% της ποσότητας νερού από το υπέδαφος καταλήγει στο

σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων. Η παράμετρος «Base flow index as a ratio» εκφράζει το ποσοστό της απορροής νερού από διαπερατές περιοχές που καταλήγει στο υπέδαφος και επιλέχθηκε τιμή ίση με 0,3.

Πίνακας 12 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό εισροής υγρασίας στο σύστημα αποχέτευσης

Όνομα Παραμέτρου	Τιμή
Base flow index as a ratio	0,3
Base flow recession constant as a ratio	0,0025

4.7.2 Παραγωγή υγρών αποβλήτων

Παράμετροι βαθμονόμησης ποσοτήτων υγρών αποβλήτων

Πίνακας 13 Παράμετροι βαθμονόμησης για τον υπολογισμό ποσοτήτων υγρών αποβλήτων

Όνομα Παραμέτρου	Τιμή
Infiltration index as a ratio	0,2
Infiltration store recession constant as a ratio	0,05
Per cent of surface runoff as inflow as a%	2 (20 για το Cluster 51)

Η παράμετρος «Percentage Surface Runoff as Inflow» εκφράζει το ποσοστό της επιφανειακής απορροής ομβρίων υδάτων που εισέρχεται στο σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων. Η παράμετρος αυτή υποδηλώνει τον τύπο του συστήματος αποχέτευσης (χωριστικό – παντοροϊκό).

Η περιοχή της Αθήνας διαθέτει στο μεγαλύτερο τμήμα της έκτασής της χωριστικό σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων άρα η εισροή ομβρίων στο σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων είναι πρακτικά μικρή. Για έναν τέτοιο τύπο συστήματος ένα ποσοστό εισροής ίσο με 2% αποδείχτηκε κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης ικανοποιητικό. Για το δήμο της Αθήνας (Cluster 51) που διαθέτει παντοροϊκό δίκτυο επιλέχθηκε τιμή ίση με 20%.

Η παράμετρος «Infiltration index as a ratio» (επιλέχθηκε τιμή 0,2) εκφράζει το ποσοστό της απορροής νερού από διαπερατές περιοχές που συσσωρεύεται στο υπέδαφος και εισέρχεται τελικά στο σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων με διήθηση διαμέσου των αγωγών.

Η παράμετρος «Infiltration store recession constant as a ratio» (επιλέχθηκε τιμή ίση με 0,05) εκφράζει το ποσοστό της υγρασίας του υπεδάφους που εισέρχεται τελικά με στο σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων.

4.7.3 Χρήση νερού δικτύου ύδρευσης για άρδευση πράσινων και δημόσιων ανοικτών χώρων

Το μοντέλο Aquacycle υπολογίζει τις ανάγκες άρδευσης μιας διαπερατής περιοχής (κήπος, ανοικτοί δημόσιοι χώροι) ως την επιπρόσθετη ποσότητα νερού που πρέπει να δοθεί, εκτός από εκείνη που αποδίδεται μέσω των κατακριμνήσεων. Η παράμετρος «trigger to irrigate» εκφράζει τις πρακτικές άρδευσης και δηλώνει το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας των διαπερατών περιοχών. Για τις ανοικτές δημόσιες περιοχές χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,7 και για τους κήπους η τιμή 0,8.

5 Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι η ζήτηση σε νερό ύδρευσης, η παροχή υγρών αποβλήτων και ομβρίων υδάτων. Οι τιμές της ζήτησης νερού ύδρευσης επαληθεύτηκαν με πραγματικές τιμές από τις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (Γαλάτσι, Μενίδι, Κιούρκα, Μάνδρα) και η παροχή υγρών αποβλήτων με τιμές από τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Ψυττάλειας.

Η ζήτηση νερού ύδρευσης αποτελεί άθροισμα τριών συνιστωσών ζήτησης νερού:

- Νερό για εσωτερική οικιακή χρήση (κουζίνα, λουτρό, τουαλέτα, πλυντήριο), που υπολογίζεται με βάση την τιμή του δεδομένου της οικιακής κατανάλωσης.
- Νερό άρδευσης ανοικτών πράσινων χώρων και κήπων. Οι ανάγκες άρδευσης εκτιμώνται με ένα επιμέρους μοντέλο που χρησιμοποιεί το Aquacycle που υπολογίζει την ποσότητα του νερού δικτύου που πρέπει να προσφερθεί (εκτός του νερού που προσφέρεται μέσω της βροχής) ώστε να διατηρηθεί η αρδευόμενη περιοχή σε επιθυμητά επίπεδα υγρασίας. Τα επιθυμητά επίπεδα υγρασίας υποδηλώνονται μέσω παραμέτρου βαθμονόμησης.
- Απώλειες νερού διαμέσου του δικτύου ύδρευσης. Ως ποσοστό απωλειών δικτύου ύδρευσης δόθηκε η τιμή 20% (ΕΥΔΑΠ, 2005) που αποτελεί αντιπροσωπευτική τιμή για τα δίκτυα ύδρευσης της πρωτεύουσας.

Η παροχή υγρών αποβλήτων είναι το άθροισμα των ποσοτήτων:

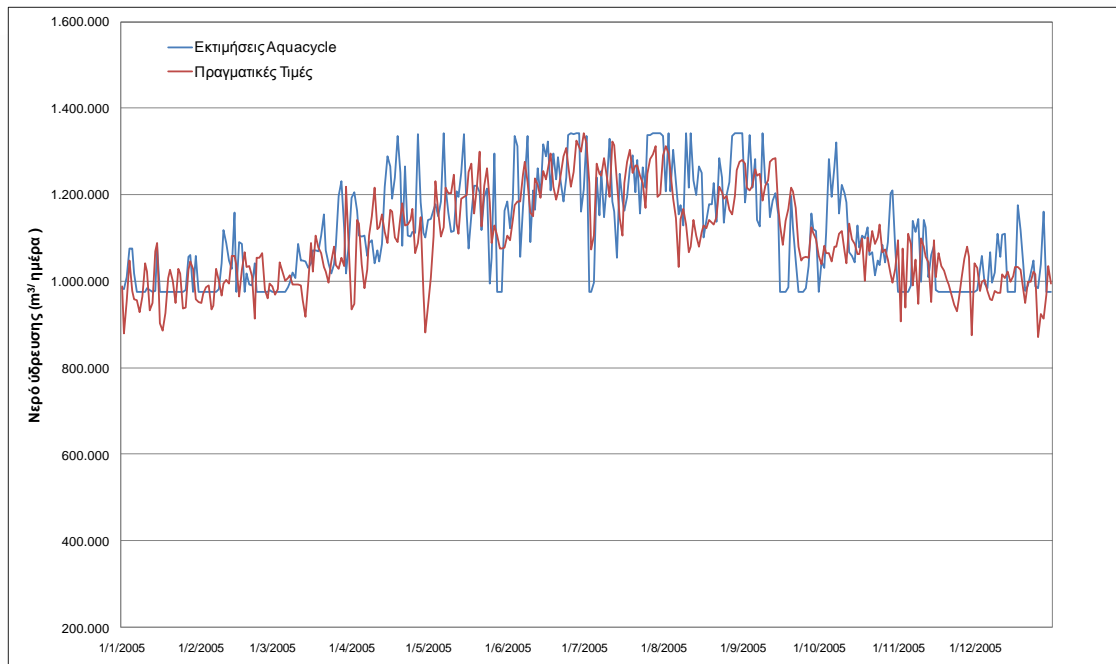
- Ζήτησης νερού για εσωτερικές χρήσεις (κουζίνα, λουτρό, τουαλέτα, πλυντήριο).
- Διήθησης ποσοτήτων νερού μέσω της υγρασίας του υπεδάφους στο σύστημα αποχέτευσης.
- Εισροής ενός ποσοστού ομβρίων υδάτων στο δίκτυο συλλογής υγρών αποβλήτων (λόγω ύπαρξης παντοροϊκού συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων και υγρών αποβλήτων) και προέρχεται μέσω επιφανειακής απορροής από διαπερατές και αδιαπερατές επιφάνειες.

Η απορροή ομβρίων υδάτων από μια περιοχή είναι το αποτέλεσμα των συνιστωσών που αναφέρονται στη συνέχεια:

- Απορροή από τις αδιαπερατές επιφάνειες (πχ. στέγες, δρόμους)
- Απορροή από διαπερατές επιφάνειες (δημόσιοι ανοικτοί χώροι, περιοχές που δεν καλύπτονται από δόμηση)
- Ποσότητα νερού που δεν έχει απορροφηθεί από το υπέδαφος λόγω κορεσμού.

Η απορροή των ομβρίων υδάτων είναι το άθροισμα των τριών παραπάνω συνιστωσών αν αφαιρεθεί η ποσότητα της επιφανειακής απορροής από διαπερατές και αδιαπερατές επιφάνειες που εισρέει στο σύστημα υγρών αποβλήτων.

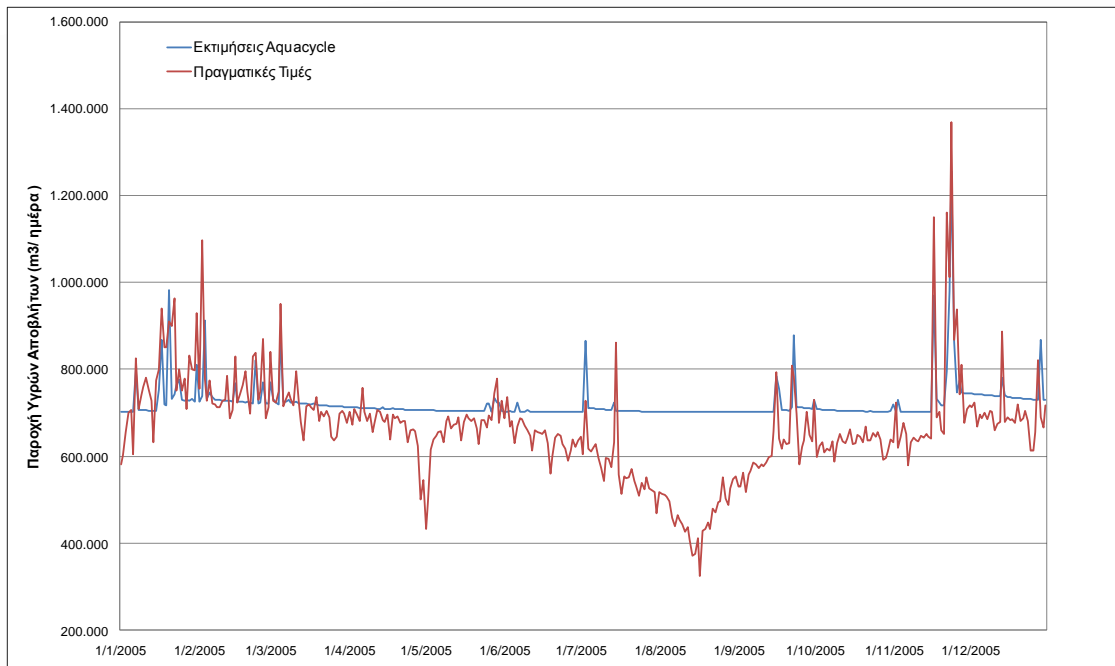
Στο γράφημα (Εικόνα 40) απεικονίζονται οι πραγματικές και οι εκτιμώμενες τιμές από το μοντέλο για την ποσότητα του νερού ύδρευσης.



Εικόνα 40 Εκτιμώμενες και πραγματικές τιμές νερού δικτύου ύδρευσης

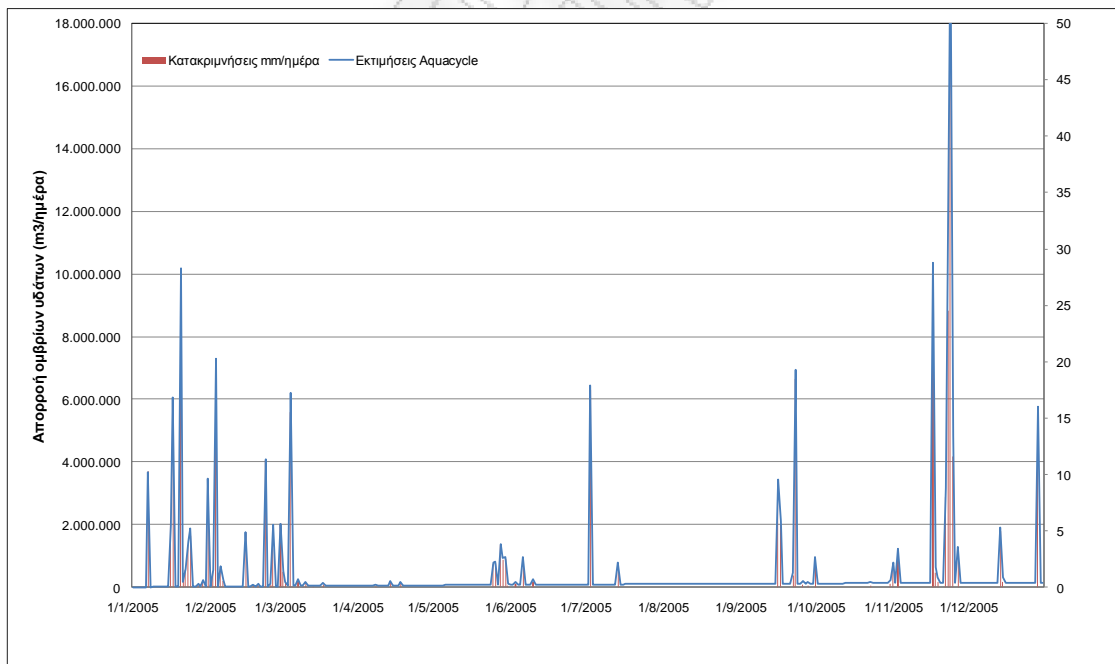
Όσον αφορά στον υπολογισμό των υγρών αποβλήτων, αξιοποιείται το δεδομένο ότι από το σύνολο των δήμων που υδρεύονται, μόνο το 92% αυτών εξυπηρετείται με δίκτυο συλλογής υγρών αποβλήτων. Θεωρητικά, αυτό σημαίνει ότι από τη συνολική ποσότητα του νερού ύδρευσης που διοχετεύεται στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας το 92% καταλήγει υπό μορφή υγρών αποβλήτων στην είσοδο της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Η πληροφορία αυτή καθιστά απαραίτητη τη διόρθωση των τιμών των ημερήσιων παροχών υγρών αποβλήτων που προκύπτουν από το μοντέλο με το συντελεστή 0,92 καθώς δεν υπάρχει σχετική παράμετρος του μοντέλου που να λαμβάνει υπόψη αυτό το ενδεχόμενο. Στο γράφημα της Εικόνας 41 απεικονίζονται οι πραγματικές και εκτιμώμενες τιμές υγρών αποβλήτων.



Εικόνα 41 Εκτιμώμενες και πραγματικές τιμές υγρών αποβλήτων

Η απορροή ομβρίων υδάτων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα σε συνδυασμό με μετρήσεις ημερήσιας βροχόπτωσης στην περιοχή της Αθήνας.



Εικόνα 42 Απορροή ομβρίων υδάτων και κατακρημνίσεις

Όσον αφορά στην εκτίμηση του μοντέλου για την παροχή του νερού ύδρευσης παρατηρείται ότι προσεγγίζεται ικανοποιητικά η τάση που παρουσιάζει η κατανάλωση κατά τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα, οι προβλέψεις του μοντέλου πλησιάζουν τις πραγματικές μετρήσεις τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο,

Ιανουάριο, Φεβρουάριο) και τους φθινοπωρινούς μήνες (Οκτώβριο, Νοέμβριο) όπου η κατανάλωση εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές της. Επίσης, τα αποτελέσματα του μοντέλου προσεγγίζουν την αύξηση της κατανάλωσης που παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες όπου αυξάνεται η ζήτηση εξαιτίας των αναγκών άρδευσης.

Σχετικά με την παραγωγή υγρών αποβλήτων παρατηρείται ότι το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του επιτυχώς τη συνεισφορά των ομβρίων υδάτων στη συνολική ποσότητα εκροής γεγονός που επαληθεύεται με την ταύτιση των μεγίστων που παρουσιάζουν οι πραγματικές και οι υπολογιζόμενες τιμές των υγρών αποβλήτων.

Τέλος, σημειώνεται πως το Aquacycle δε λαμβάνει υπόψη παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανάλωση του νερού και την παραγωγή υγρών αποβλήτων και προκαλούνται από βραχυχρόνιες εποχικές μεταβολές όπως είναι οι μεταβολές του πληθυσμού κατά τη διάρκεια διακοπών (θερινοί μήνες). Το φαινόμενο αυτό ασκεί έντονη επίδραση στη διαμόρφωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης και των υγρών αποβλήτων γεγονός που παρατηρείται κατά το μήνα Αύγουστο όπου οι ημερήσιες τιμές και των δύο μεγεθών ελαττώνονται.

5.2 Εφαρμογή μεθόδων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζουν μια ικανοποιητική προσέγγιση των ημερήσιων τιμών παροχής νερού ύδρευσης και υγρών αποβλήτων κατά τη σύγκρισή τους με πραγματικές τιμές από τις τέσσερις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού της Αθήνας και της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Ψυττάλειας αντίστοιχα.

Στο επόμενο βήμα εξετάζεται η επίδραση στις τιμές αυτές από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα. Αποτέλεσμα αυτής της αξιολόγησης είναι η εξαγωγή δεικτών που παρουσιάζουν το ποσοστό μεταβολής της παρούσας κατάστασης υπό την επίδραση των μέτρων αυτών.

Το Aquacycle είναι ένα εργαλείο που προτείνει τεχνολογίες που υποστηρίζουν τις μεθόδους εξοικονόμησης νερού σε κάθε επίπεδο διαχείρισης (Μονάδα Κατανάλωσης - Unit Block, Συγκρότημα Μονάδων Κατανάλωσης - Cluster, Συνολική Αστική Περιοχή - Catchment). Για την περίπτωση της Αθήνας χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνολογίες που βρίσκουν εφαρμογή σε αποκεντρωμένη κλίμακα (κτήριο).

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης νερού βασίστηκε στη χρήση τριών δεικτών που είναι:

1. Η μείωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης. Το μέγεθος αυτό σχετίζεται άμεσα με τη μείωση της απόληψης νερού από τις πηγές και έμμεσα με το κόστος του νερού μέχρι να φτάσει στην τελική κατανάλωση, (επεξεργασία, διανομή).
2. Η μείωση των υγρών αποβλήτων που συνεπάγεται την ελάττωση της παροχής που εξέρχεται από μια περιοχή και του ρυπαντικού φορτίου που καταλήγει τελικά προς επεξεργασία. Παράλληλα ελαχιστοποιείται το κόστος επεξεργασίας, η δυναμικότητα των μονάδων και η περιβαλλοντική επιβάρυνση από την απορροή ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων.
3. Η μείωση της απορροής ομβρίων υδάτων που συνεπάγεται την ελάττωση των ρυπαντικών ουσιών που φέρουν οι παροχές αυτές και καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες και τη μείωση του κόστους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τη δυναμικότητα των μονάδων στην περίπτωση που καταλήγουν παντοροϊκοί αγωγοί σε αυτές.

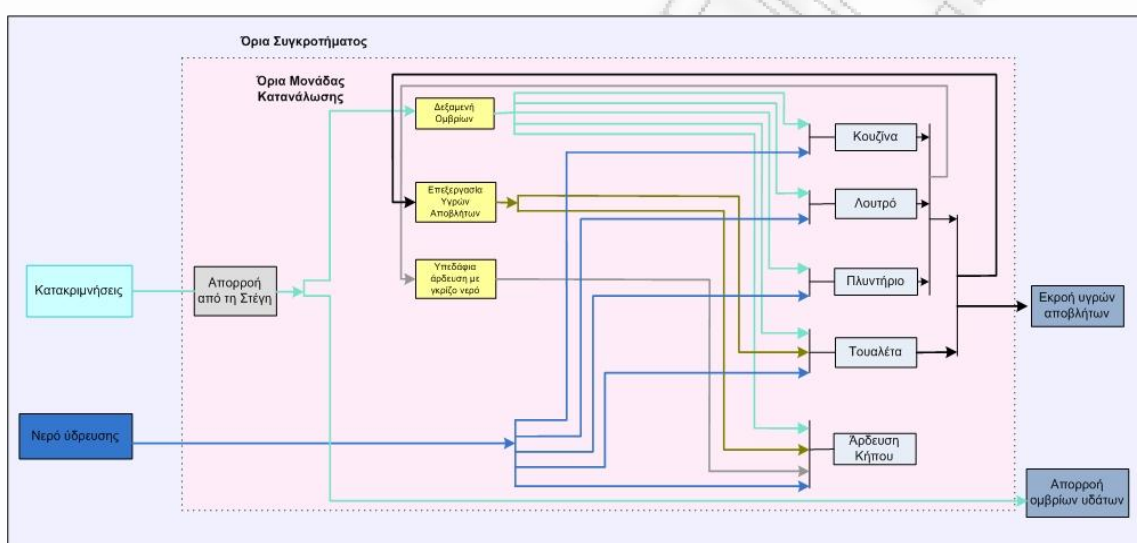
Πιο αναλυτικά, οι μέθοδοι που προτείνονται από το Aquacycle ως μέτρα εξοικονόμησης νερού διατυπώνονται στη συνέχεια:

- Χρήση ομβρίων υδάτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα (ανά κτήριο). Το μέτρο αυτό εξετάζει το ενδεχόμενο τοποθέτησης δεξαμενής συλλογής ομβρίων υδάτων δυναμικότητας 2 m^3 σε κάθε κτήριο. Η δεξαμενή συλλέγει την απορροή από τη στέγη του κτηρίου και παρέχει τη συλλεχθείσα ποσότητα νερού προς εσωτερικές (λουτρό, τουαλέτα) και εξωτερικές χρήσεις (άρδευση κήπου) κάθε κτηρίου.
- Ανακύκλωση υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα (ανά κτήριο). Το μέτρο αυτό προτείνει την εγκατάσταση μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του κτηρίου. Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται το ενδεχόμενο τοποθέτησης μιας δεξαμενής δυναμικότητας αποθήκευσης 5 m^3 για την αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Για τις ανάγκες των υπολογισμών γίνεται η παραδοχή ότι η μονάδα επεξεργασίας επεξεργάζεται τα υγρά απόβλητα που

προέρχονται από τη χρήση του νερού σε ένα νοικοκυριό (κουζίνα, τουαλέτα, λουτρό, πλυντήριο) και το επεξεργασμένο νερό που διατίθεται, προσφέρεται για να καλύψει ζήτηση νερού για εσωτερική χρήση (τουαλέτα) και εξωτερική χρήση (άρδευση).

- Επαναχρησιμοποίηση «γκρίζου νερού» για υπεδάφια άρδευση. Η παροχή «γκρίζου νερού» που προέρχεται από την κουζίνα, το λουτρό και το πλυντήριο χρησιμοποιείται για να καλύψει τις αρδευτικές ανάγκες στην περίπτωση όπου υπάρχει ζήτηση νερού άρδευσης στο κτήριο.

Στην Εικόνα 43 απεικονίζεται το σύνολο των επιλογών εξοικονόμησης νερού που υποστηρίζει το Aquacycle σε επίπεδο κτηρίου. Στα όρια διαχείρισης ενός κτηρίου που αποτελεί για την προκειμένη περίπτωση τη μικρότερη μονάδα διαχείρισης αποτυπώνονται οι εισροές νερού, οι εκροές των παροχών, τα είδη της ζήτησης, οι μέθοδοι εναλλακτικής χρήσης νερού και όλες οι δυνατές επιλογές διαχείρισης.



Εικόνα 43 Επιλογές εξοικονόμησης νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Κάθε Μονάδα Κατανάλωσης δέχεται δύο ειδών εισροές νερού: μέσω του δικτύου ύδρευσης και των κατακρημνίσεων. Αυτές οι εισροές καλούνται να καλύψουν την τελική ζήτηση για τις εσωτερικές (κουζίνα, λουτρό, πλυντήριο, τουαλέτα) και τις εξωτερικές ανάγκες (άρδευση κήπου) είτε συμβατικά είτε μέσω εναλλακτικής παροχής νερού (χρήση ομβρίων υδάτων, επεξεργασία υγρών αποβλήτων, υπεδάφια άρδευση με «γκρίζο νερό»).

Στην περίπτωση που υπάρχουν πολλαπλές πηγές παροχής νερού (δίκτυο ύδρευσης, ανακυκλωμένο, επαναχρησιμοποιημένο) και διάφοροι τύποι ζήτησης (εσωτερικές και εξωτερικές χρήσεις) σε ένα νοικοκυριό, η κατανομή της προσφοράς ώστε να καλύψει τη ζήτηση ακολουθεί μια σειρά κανόνων και προτεραιοτήτων.

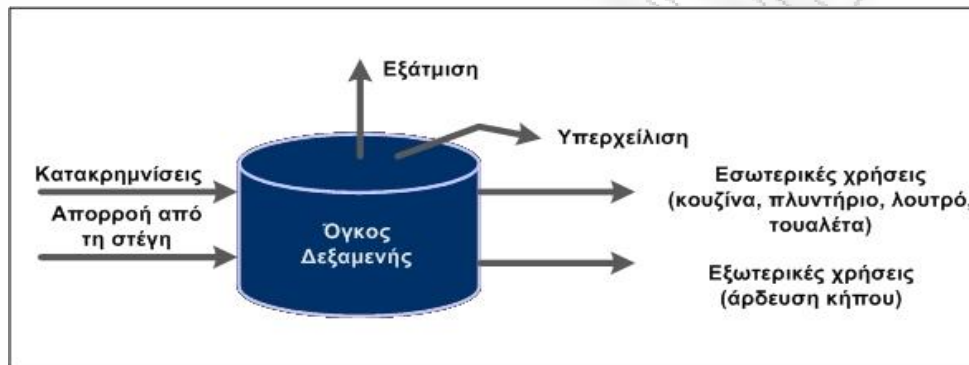
Σύμφωνα με τις προτεραιότητες αυτές η κατανομή των εναλλακτικών πηγών νερού υπόκειται στους εξής κανόνες:

1. Πρώτα χρησιμοποιείται το κατώτερο ποιοτικά νερό για την κάλυψη μιας ζήτησης.
2. Η κάλυψη της ζήτησης των εσωτερικών χρήσεων ενός νοικοκυριού προηγείται των εξωτερικών χρήσεων

3. Η χρήση νερού ύδρευσης έπεται της χρήσης εναλλακτικών παροχών νερού.

5.2.1 Χρήση ομβρίων υδάτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου εξοικονόμησης προτείνεται η συλλογή ομβρίων υδάτων που απορρέουν από τη στέγη του κτηρίου σε δεξαμενή συλλογής ομβρίων. Σύμφωνα με το Aquacycle το σύστημα συλλογής ομβρίων αναπαρίσταται με τη χρήση ενός απλουστευμένου μοντέλου δεξαμενής. Στη δεξαμενή εισρέουν τα όμβρια ύδατα που απορρέουν από τη στέγη του κτηρίου και ο όγκος του νερού που αποθηκεύεται προσφέρεται για την κάλυψη εσωτερικών (κουζίνα, λουτρό, τουαλέτα, πλυντήριο) και εξωτερικών αναγκών (άρδευση κήπου). Το μοντέλο της δεξαμενής λαμβάνει υπόψη και τις διεργασίες της εξάτμισης του νερού στην περίπτωση που μέρος της επιφάνειας είναι ανοικτό και της υπερχείλισης στην περίπτωση που ο τρέχον όγκος νερού που συλλέγεται ξεπεράσει τη δυναμικότητα της δεξαμενής.

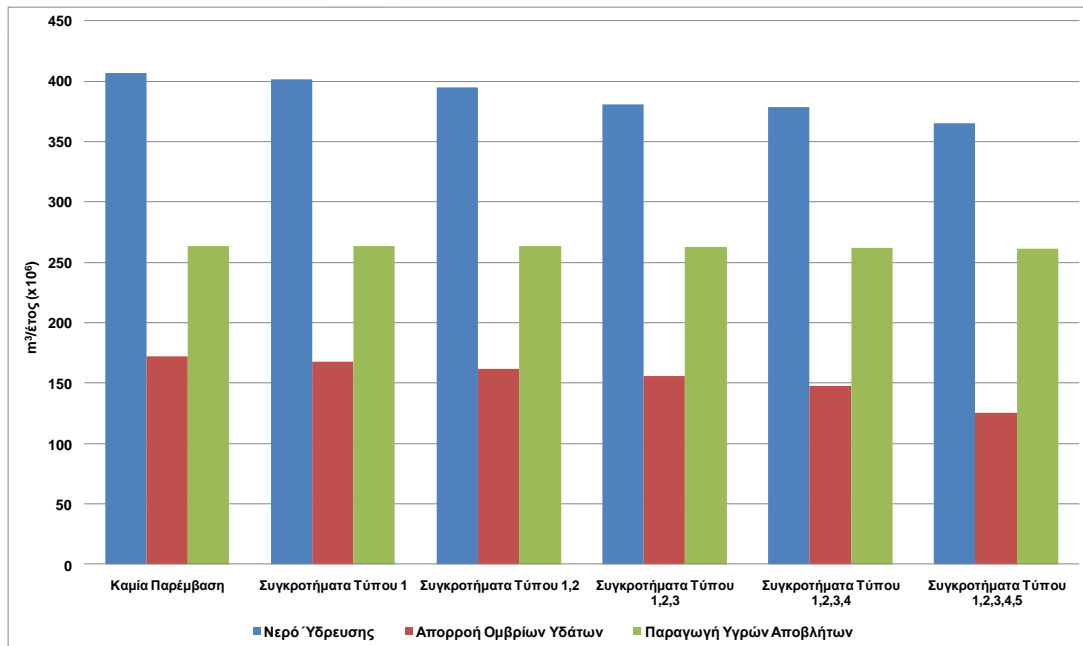


Εικόνα 44 Δεξαμενή ομβρίων υδάτων

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 45) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου κατά την εφαρμογή του μέτρου εξοικονόμησης νερού σύμφωνα με το οποίο προβλέπεται η χρήση ομβρίων υδάτων.

Η αποτελεσματικότητα του μέτρου εξετάζεται μέσω της διαδοχικής εφαρμογής δεξαμενών συλλογής ομβρίων υδάτων σε κάθε τύπο Συγκροτήματος μέχρι την πλήρη εφαρμογή του στο σύνολο της υπό μελέτη περιοχής.

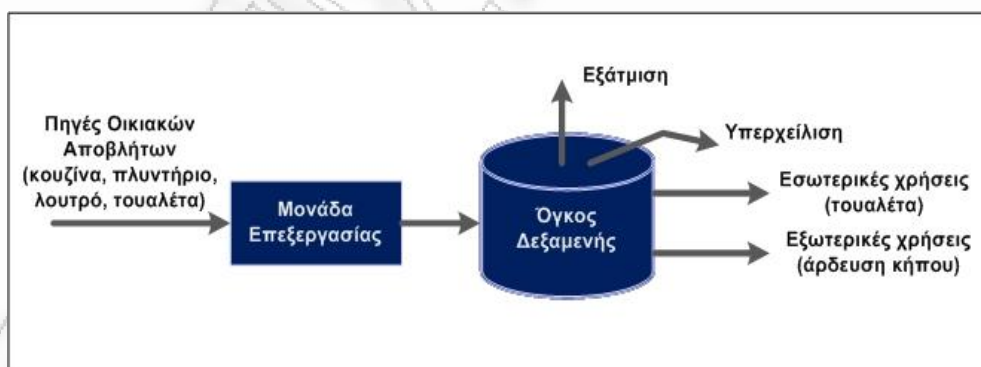
Παρατηρείται διαδοχική ελάττωση της χρήσης του πόσιμου νερού και της απορροής ομβρίων υδάτων ενώ η παραγωγή υγρών αποβλήτων παραμένει σταθερή καθώς οι παροχές αυτές δε συμμετέχουν στην εφαρμογή του μέτρου αυτού.



Εικόνα 45 Διαδοχική εφαρμογή μεθόδου συλλογής ομβρίων υδάτων

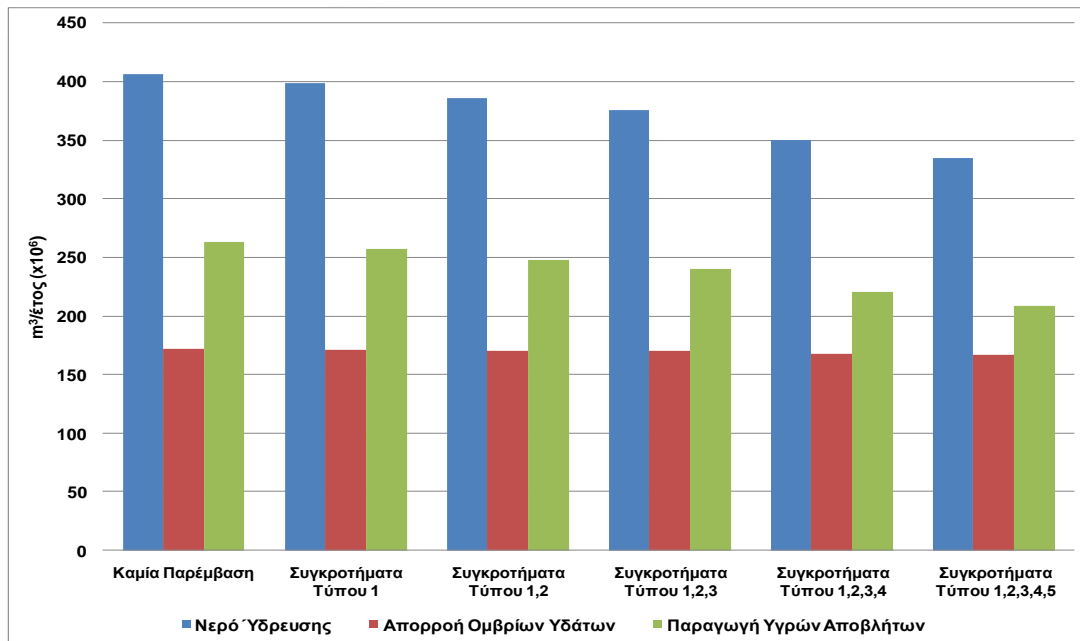
5.2.2 Ανακύκλωση υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Σύμφωνα με την πρακτική αυτή τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τις χρήσεις του νερού (κουζίνα, λουτρό, τουαλέτα, πλυντήριο) οδηγούνται προς μια μονάδα επεξεργασίας και μια δεξαμενής αποθήκευσης που είναι εγκατεστημένη στο κτήριο. Στη συνέχεια η επεξεργασμένη παροχή χρησιμοποιείται για την άρδευση του κήπου και την τουαλέτα.



Εικόνα 46 Σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρείται η ελάττωση της χρήσης του νερού ύδρευσης ως αποτέλεσμα της διαδοχικής εφαρμογής του μέτρου επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε όλη την περιοχή.

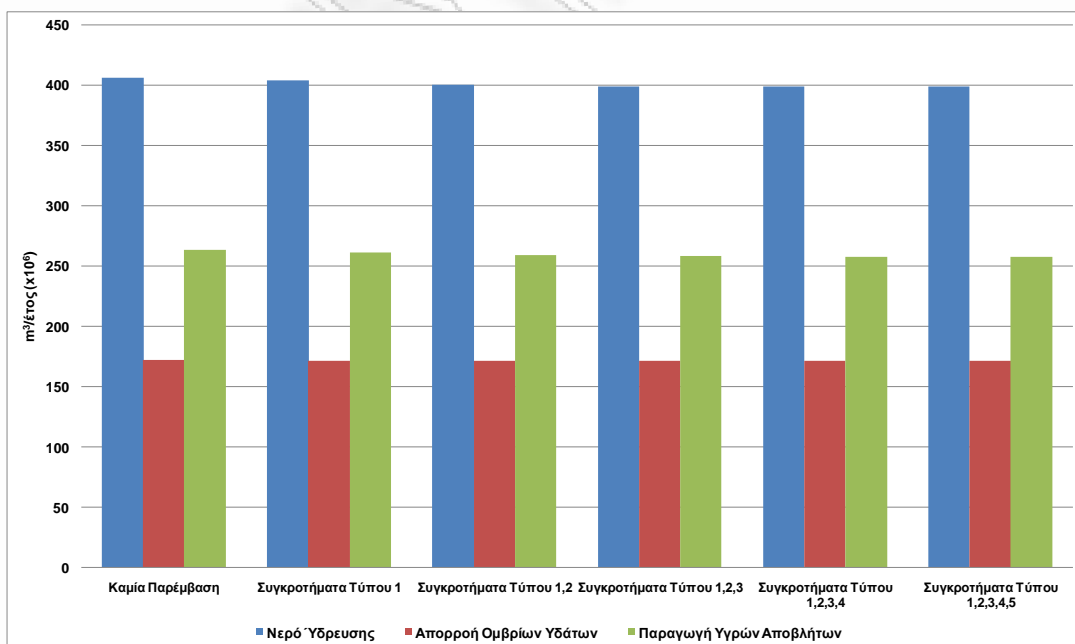


Εικόνα 47 Διαδοχική εφαρμογή μεθόδου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

5.2.3 Επαναχρησιμοποίηση «γκρίζου νερού» για υπεδάφια άρδευση

Η μέθοδος επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνει τη χρήση των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από την κουζίνα, το λουτρό και το πλυντήριο για την άρδευση των πράσινων περιοχών (αν υπάρχουν στα όρια ενός κτηρίου).

Παρατηρείται μικρή ελάττωση στη χρήση του νερού ύδρευσης και στην παροχή των υγρών αποβλήτων.



Εικόνα 48 Διαδοχική εφαρμογή μεθόδου υπεδάφιας άρδευσης με «γκρίζο νερό»

5.2.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή κάθε μεθόδου στο 100% της έκτασης της υπό μελέτη περιοχής, (Πίνακας 14).

Σημειώνεται ότι σε κάθε σενάριο εξετάζεται κάθε φορά η εφαρμογή μόνο μιας μεθόδου.

Παρατηρείται ότι το μέτρο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε αποκεντρωμένη κλίμακα συντελεί στη μεγαλύτερη ελάττωση της χρήσης του νερού ύδρευσης και συνεισφέρει στην ελάττωση των υγρών αποβλήτων που αποτελούν εξερχόμενη παροχή από την περιοχή, καθώς οι ποσότητες αυτές ανακυκλώνονται για την κάλυψη αστικών αναγκών. Ωστόσο όλα τα σενάρια συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσης χρήσης νερού στο πλαίσιο ενός αστικού συγκροτήματος.

Πίνακας 14 Αποτελεσματικότητα από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης νερού στο 100% της υπό μελέτη περιοχής

	Νερό δικτύου ύδρευση (m ³ /yr) x10 ⁶	Απορροή ομβρίων υδάτων (m ³ /yr) x10 ⁶	Παραγωγή υγρών αποβλήτων (m ³ /yr)x10 ⁶
Καμία Παρέμβαση	406,56	171,89	263,38
Χρήση ομβρίων υδάτων	364,94 (-10,24%)	125,16 (-27,19%)	261,49 (-0,72%)
Επεξεργασία υγρών αποβλήτων	334,65 (-17,69%)	166,93 (-2,89%)	208,88 (-20,69%)
Χρήση «γκρίζου νερού»	398,87 (-1,89%)	171,36 (-0,31%)	257,84 (-2,10%)

6 Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Το Aquacycle χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο για την αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης νερού στην περίπτωση μιας μεγάλης αστικής περιοχής, όπως είναι η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποδεικνύουν ότι η εφαρμογή εναλλακτικών πηγών νερού σε αποκεντρωμένη κλίμακα επιτυγχάνει τη μείωση της κατανάλωσης του νερού ύδρευσης και των ποσοτήτων των ομβρίων υδάτων και των υγρών αποβλήτων από μια αστική περιοχή.

Είναι γεγονός ότι η δυνατότητα εφαρμογής των μεθόδων εξοικονόμησης νερού σε μια μεγάλη αστική περιοχή μπορεί να παρουσιάζει δυσκολίες που οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με την ελλιπή ενημέρωση σχετικά με το όφελος της εφαρμογής τέτοιων πρακτικών (περιβαλλοντικό, οικονομικό), τη δυσκολία αποδοχής από τους κατοίκους των αστικών περιοχών, την έλλειψη οικονομικών κινήτρων που θα ωθήσουν στην εφαρμογή τους και τη δυσκολία να εφαρμοστούν στον τύπο δόμησης και λειτουργίας των σημερινών αστικών περιοχών που χαρακτηρίζονται για την παλαιότητά του και για τον μη βιώσιμο τρόπο σχεδιασμού τους.

Όσον αφορά στη χρήση του Aquacycle είναι εμφανές ότι αποτελεί ένα εργαλείο ικανό να προτείνει ένα εύρος πρακτικών εξοικονόμησης νερού σε αστικές περιοχές. Ως εργαλείο προσομοίωσης αποτελεί ένα μέσο που συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση των βασικών λειτουργιών του αστικού υδατικού κύκλου και κατ' επέκταση στην αναζήτηση λύσεων που οδηγούν στη βέλτιστη λειτουργία του. Μέσω του Aquacycle προωθείται η έννοια των εναλλακτικών πηγών νερού και της ύπαρξης παροχών νερού ποιοτικά διαβαθμισμένου ως εναλλακτικής πηγής για τους διαφορετικούς τύπους ζήτησης σε μια περιοχή.

Το μοντέλο έδωσε μια ικανοποιητική προσομοίωση για τη ζήτηση του πόσιμου νερού και την παραγωγή υγρών αποβλήτων και μέσω των επιλογών εξοικονόμησης νερού εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα των μέτρων από περιβαλλοντική πλευρά και η ανάπτυξη σεναρίων ώστε να επιλεγεί η πιο ωφέλιμη λύση.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Asano, T., The role of reclaimed municipal wastewater in sustainable water resources management. In: Proceedings of the 6th Recycled Water Seminar, Sydney, Australia, 3–4 November. Australian Water and Wastewater Association Incorporated, pp. 7–13, 1998.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes D., Smith, M., FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements), FAO, Water Resources, Development and Management Service, Rome, Italy

Athens Water Supply and Sewerage Company (EYDAP), Division of Corporate Analysis and Planning, 2004 (URL: <http://www.eydap.gr/media/politismos/entypa/brochure.pdf>)

Binder, C., Schertenleib, R., Diaz, J., Bader, H.- P. and Baccini, P., Regional Water Balance as a Tool for Water Management in Developing Countries, Water Resources Development 13(1) pp 5-20, 1997

Boughton, W.C., A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. In: Proceedings of the Hydrology and Water Resources Symposium, Newcastle, The Institution of Engineers, Australia, pp. 317–324, 1993.

Graham, G.S. Urban Water Resources Modelling, M.Eng.Sc. Thesis, Monash University, 1976

Grimmond, C.S.B., Oke, T.R. and Steyn, D.G., Urban Water Balance 1. Model for Daily Totals. Water Resources Research 22 (10) pp. 1397-1403. 1986

Herman, T. and Klaus, U., Fluxes of Nutrients in Urban Drainage Systems: Assessment of Sources, Pathways and Treatment Techniques, Water Science and Technology 36(8-9), 167-172, 1997

Hiessl, H., Walz R., Toussaint, D., Design and Sustainability Assessment of Scenarios of Urban Water Infrastructure Systems, 2003, (URL: <http://isi.fraunhofer.de/isi/publ/download/isi02p49/urban-water.pdf?pathAlias=/publ/downloads/isi02p49/urban-water.pdf>)

Jia, Y., Ni, G., Yoshitani, J., Kawahara, Y. and Kinouchi, T., Coupling Simulation of Water and Energy Budgets and Analysis of Urban Development Impact, Journal of Hydrologic Engineering 7(4) pp 302-311 2002

Karka P., Manoli E., Lekkas D.F., Assimacopoulos D., (2007), A case study on integrated urban water modelling using Aquacycle, Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Trechnology, Kos island, Greece, 5-7 September

Kuczera, G and Coombes, P.J., Towards Continuous Simulation: A Comparative Assessment of Flood Performance of Volume-Sensitive Systems, SIA 2002 Conference on Stormwater Management, Orange, NSW, 23-24 April, 2002

Lesikar, B., Melton, R., Smith, D., O'Neill, C., On-site wastewater treatment systems, (Graywater), AgriLIFE EXTENSION, (URL: http://ossf.tamu.edu/educational_materials.html)

Loh, M., Coghlan, P., Domestic Water Use Study In Perth, Western Australia, 1998-2001, Water Corporation, March 2003

May, P.J. et al. (1996) Environmental Management and Governance: Intergovernmental Approaches to Hazards and Sustainability. Routledge, London

Mitchell, C., Mitchell, G., Shipton, R., Speers A., Turner A., White S., EDMONDSON PARK FEASIBILITY REPORT, CSIRO Urban Water and The Institute for Sustainable Futures, 2002

Mitchell, V.G., Mein, R.G., McMahon, T.A., (2001), Modelling the urban water cycle, Environmental Modelling & Software 16, 615–629

Mitchell, V.G., (2000), Aquacycle User Manual, CRC for Catchment Hydrology. Monash University, Australia

Mitchell, V.G., Mein, R.G., McMahon, T.A., (1999), Assessing the reuse potential of stormwater and wastewater in urban areas. Industry Report 99/14, CRC for Catchment Hydrology, Melbourne

Mitchell, V G, Diaper C., UVQ: A tool for assessing the water and contaminant balance impacts of urban development scenarios

Newall, B., Cameron, I., Lant, P., von Meunch, E., Olsson, G., Modelling sustainable urban water systems. In: Proceedings of the 11th IWSA-ASPAC Regional Conference, 1–5 November, Sydney, Australian Water and Wastewater Association Incorporated, pp. 550–556, 1998.

R.E. de Graaf and F.H.M. van de Ven, Transitions to more sustainable concepts of urban water management and water supply, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005

Rainwater Harvesting And Utilisation, An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers, (URL: <http://www.gdrc.org/uem/water/rainwater/rainwaterguide.pdf>)

Rees, J.A., Urban Water and Sanitation Services; An IWRM Approach, TEC BACKGROUND PAPERS NO. 11, Global Water Partnership Technical Committee (TEC), June 2006

Clark, R., Pezzaniti D., Cresswell D., WATERCRESS – COMMUNITY RESOURCE EVALUATION AND SIMULATION SYSTEM - A TOOL FOR INNOVATIVE URBAN WATER SYSTEMS PLANNING AND DESIGN

Sharma A., Burn S., Urban Water Systems, Transitional Issues for Sustainable Cities, Australian-German Workshop on Sustainable Urban Water Management, Melbourne, Australia, 1- 4 April 2008

Sydney Water, Buying a rainwater tank, URL: <http://www.sydneywater.com.au>

Sydney Water, Installing a rainwater tank, URL: <http://www.sydneywater.com.au>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WATER AND WASTEWATER REUSE, An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management, 2005, (URL http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water_Sanitation/wastewater_reuse/index.asp)

Uunk, E.J.B. and van de Ven, F.H.M., Water Budgets for the Town of Lelystad, paper presented at the Third International Conference on Urban Stormwater Drainage, Gotenburg, Sweden, June 4-8 1984

Water Sensitive Urban Design in the Sydney Region, Wastewater Reuse, Practice Note 9, Available at the World Wide Web, URL: <http://www.wsud.org/>

White S., Turner A., The Role of Effluent Reuse In Sustainable Urban Water Systems: Untapped Opportunities, National Water Recycling in Australia Conference, Brisbane, September 2003

White, G.F. (1942) Human Adjustments to Floods. University of Chicago, Department of Geography. Research Paper no.29. Chicago

ΕΥΔΑΠ, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού Συστήματος της Αθήνας, Υδρολογικό έτος 2005-2006, Δεκέμβριος 2005

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, Απογραφή 2001

<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php>

http://www.greeklandscapes.com/maps/athens_map.html

<http://www.wunderground.com/global/stations/16716.html?MR=1>

Παράρτημα

1 Υπόμνημα χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE

Πίνακας Π 1 Κατανομή Χρήσεων γης CORINE

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστική οικοδόμηση	1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση 1.1.2 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη 1.2.3 Ζώνες λιμένων
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών 1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη-αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας 2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι
4. Υγρές ζώνες	4.1 Εσωτερικές υγρές ζώνες	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Παλιρροιακά επίπεδα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων 5.1.2 Συλλογές υδάτων
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός

2 Διαδικασία υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής

Η εξίσωση Penman-Monteith

Οι ημερήσιες τιμές της δυναμικής εξατμησης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την εξίσωση Penman-Monteith (FAO), (Allen et al.).

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Όπου

ET_o	δυναμική εξατμισοδιαπνοή [mm day^{-1}],
R_n	καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια της καλλιέργειας [$\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$],
G	ροή θερμότητας ανά μονάδα εδάφους [$\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$],
T	θερμοκρασία περιβάλλοντος σε ύψος 2m από την επιφάνεια του εδάφους [$^{\circ}\text{C}$],
u_2	Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m [m sec^{-1}],
e_s	Πίεση κορεσμένων ατμών [kPa],
e_a	Μερική πίεση ατμών (actual vapour pressure) [kPa],
$e_s - e_a$	Διαφορά πίεσης κορεσμού [kPa],
Δ	Slope vapour pressure curve [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$],
γ	Ψυχομετρική σταθερά [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$],

Στα απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής περιλαμβάνονται η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία, η ακτινοβολία και η ταχύτητα του ανέμου για ημερήσιο, εβδομαδιαίο, 10 ημερών ή μηνιαίο χρονικό βήμα ανάλογα με τις τιμές που είναι επιθυμητό να υπολογιστούν.

1. Τοποθεσία: Καθορίζεται το υψόμετρο με σημείο αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας (m) και το γεωγραφικό πλάτος. Τα δεδομένα αυτά συμβάλλουν στον προσδιορισμό κλιματικών παραμέτρων που σχετίζονται με τη μέση τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης (που είναι συνάρτηση του υψομέτρου της περιοχής πάνω από το επίπεδο της θάλασσας), με τον υπολογισμό της ακτινοβολίας (extraterrestrial) R_a , και σε μερικές περιπτώσεις με τις ώρες ηλιοφάνειας (N). Στη διαδικασία υπολογισμού των μεγεθών R_a και N, το γεωγραφικό πλάτος είναι εκφρασμένο σε ακτίνια και έχει θετική τιμή για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητική τιμή για το νότιο ημισφαίριο.

2. Θερμοκρασία: Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από την ατμόσφαιρα και η θερμότητα που εκλύεται από τη γη αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα. Η

αισθητή θερμότητα του αέρα μεταφέρει ενέργεια στην καλλιέργεια και συμβάλει στο ρυθμό και στην ένταση του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής.

Στους υπολογισμούς των τιμών της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται η (μέση) ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$). Στις περιπτώσεις που είναι διαθέσιμες μόνο μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας οι υπολογισμοί μπορούν να βασιστούν σε αυτές με κάποιες αποκλίσεις που οδηγούν σε υποεκτίμηση της τιμής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής εξαιτίας της μη γραμμικότητας στη σχέση ανάμεσα στην πίεση κορεσμού και τη θερμοκρασία.

Αν οι υπολογισμοί βασιστούν στη μέση θερμοκρασία και όχι στη μέγιστη ή την ελάχιστη προκύπτουν μικρότερες τιμές πίεσης κορεσμού e_s άρα και μικρότερες τιμές της διαφοράς $e_s - e_a$ άρα και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

3. Υγρασία: Η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την εξάτμιση του νερού, ενώ η διαφορά ανάμεσα στην τάση ατμών της εξατμιζόμενης επιφάνειας και του περιβάλλοντος αέρα είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την απομάκρυνση του ατμού.

Στην υπολογιστική διαδικασία χρησιμοποιείται η μέση ημερήσια τιμή μερικής πίεσης ατμών (actual vapour pressure) σε kPa. Όταν δεν είναι διαθέσιμες αυτές οι τιμές τότε μπορούν να προκύψουν από τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή σχετικής υγρασίας (%), από ψυχομετρικά δεδομένα (θερμοκρασίες υγρού ή ξηρού βολβού) ή τη θερμοκρασία δρόσου ($^{\circ}\text{C}$).

4. Ακτινοβολία: Η διεργασία της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας που διατίθεται για την εξάτμιση του νερού. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας ικανή να μεταβάλει μεγάλες ποσότητες νερού από την υγρή στην αέρια φάση. Η δυνητική ποσότητα ενέργειας που μπορεί να φτάσει σε μια επιφάνεια εξαρτάται από την τοποθεσία και την περίοδο του έτους. Εξαιτίας των διαφορών στη θέση του ήλιου η δυνητική ακτινοβολία διαφέρει ανά γεωγραφικό πλάτος και σε διαφορετικές εποχές. Η πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει τελικά στην επιφάνεια εξαρτάται από την ατμόσφαιρα, την ανάκλαση και απορρόφηση από την ατμόσφαιρα.

5. Ταχύτητα ανέμου: Μέση ημερήσια τιμή ταχύτητας ανέμου σε m sec^{-1} μετρημένες σε 2m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η διαδικασία απομάκρυνσης των υδρατμών εξαρτάται από την ένταση του ανέμου και την τύρβη του αέρα που μεταφέρουν ποσότητες του αέρα πάνω από την εξατμιζόμενη επιφάνεια. Κατά την εξάτμιση του νερού ο αέρας πάνω από την επιφάνεια μεταπίπτει σε κορεσμό με ατμό.

Διαδικασία υπολογισμών

Ο υπολογισμός ημερήσιων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφερόμενης στο έτος 2005, για την περίπτωση της Αθήνας περιγράφονται παρακάτω (Πίνακας Π 2). Οι υπολογισμοί της εξατμισοδιαπνοής πραγματοποιήθηκαν σε φύλλο εργασίας Excel, σύμφωνα με τις εξισώσεις και τα βήματα που περιγράφονται αναλυτικά από τους

Allen et al., Crop Evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements, της Διεθνούς Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας, (Food and Agriculture Organization), (FAO Irrigation and Drainage Paper.):

Πίνακας Π 2 Υπολογισμοί δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ΕΤο με τη χρήση της εξίσωσης FAO Penman – Monteith)

Υπολογισμός es-ea				
T_{max}		°C		
T_{min}		°C	$T_{\text{mean}}=(T_{\text{max}}+T_{\text{min}})/2$	°C
T_{mean}		°C	Δ (Πίνακας 2.4 Παράρτημα 2)	kPa/°C
Altitude		m	γ (Πίνακας 2.2 Παράρτημα 2)	kPa/°C
u₂		m/s	$(1+0.34 u_2)$	
			$\Delta/[\Delta+\gamma(1+0.34 u_2)]$	
			$\gamma/[\Delta+\gamma(1+0.34 u_2)]$	
			$[900/T_{\text{mean}}+273] u_2$	
Vapour pressure deficit (Διαφορά πίεσης)				
T_{max}		°C	$e^{\circ}(T_{\text{max}})$ (Πίνακας 2.3)	kPa
T_{min}		°C	$e^{\circ}(T_{\text{min}})$ (Πίνακας 2.3)	kPa
			Πίεση κορεσμένων ατμών (Saturation vapour pressure)	kPa
			$e_s=[(e^{\circ}(T_{\text{max}})+e^{\circ}(T_{\text{min}})]/2$	
e _a υπολογιζόμενο από τη θερμοκρασία σημείου δρόσου:				
T_{dew}		°C	$e_a=e^{\circ}(T_{\text{dew}})$ (Πίνακας 2.3)	kPa
ή e _a υπολογιζόμενο από τη μέγιστη και ελάχιστη σχετική υγρασία:				
RH_{max}		%	$e^{\circ}(T_{\text{min}}) RH_{\text{max}}/100$	kPa
RH_{min}		%	$e^{\circ}(T_{\text{min}}) RH_{\text{min}}/100$	kPa
			e _a (average)	kPa
ή e _a υπολογιζόμενο από τη μέγιστη σχετική υγρασία: (προτείνεται αν υπάρχουν σφάλματα RH _{min})				
RH_{max}		%	$e_a=e^{\circ}(T_{\text{min}}) RH_{\text{max}}/100$	kPa
ή e _a υπολογιζόμενο από τη μέση σχετική υγρασία: (δεν προτείνεται λόγω μη γραμμικότητας):				
RH_{mean}		%	$e_a=e_s RH_{\text{mean}}/100$	kPa
Vapour pressure deficit			(es-ea)	kPa

Ακτινοβολία

Latitud		ο		
----------------	--	---	--	--

e				
Day			Ra (Πίνακας 2.6)	MJm ⁻² d ⁻¹
Month			N (Πίνακας 2.7)	hours
n		hours	n/N	
If no R_s data available: R_s=(0.25+0.50n/N)Ra				MJm ⁻² d ⁻¹
R_{so}=[0.75+2(Altitude)/100000]Ra				MJm ⁻² d ⁻¹
R_s/R_{so}				
R_{ns}=0.77R_s				MJm ⁻² d ⁻¹
T_{max}			σT _{max} ,K ⁴ (Πίνακας 2.8)	MJm ⁻² d ⁻¹
T_{min}			σT _{min} ,K ⁴ (Πίνακας 2.8)	MJm ⁻² d ⁻¹
(σT_{max},K⁴ + σT_{min},K⁴)/2				MJm ⁻² d ⁻¹
e_a		kPa	(0.34-0.14√e _a)	
Rs/Rso			(1.35 R _s /R _{so} - 0.35)	
R_{nl}=(σT_{max},K⁴ + σT_{min},K⁴)/2 (0.34-0.14√e_a) (1.35 R_s/R_{so} - 0.35)				MJm ⁻² d ⁻¹
R_n=R_{ns}-R_{nl}				MJm ⁻² d ⁻¹
T_{month}		°C	G _{day} (εκτίμηση)	MJm ⁻² d ⁻¹
T_{month-1}		°C	G _{month} =0.14(T _{month} - T _{month-1})	MJm ⁻² d ⁻¹
R_n-G				MJm ⁻² d ⁻¹
0.408(R_n-G)				mm/day
Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Grass reference evapotranspiration)				
$\left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \right] [0.408(R_n - G)]$				mm/day
$\left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \right] \left[\frac{900}{T + 273} \right] u_2 [(e_s - e_a)]$				mm/day
$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$				mm/day

▪ Η αναζήτηση κλιματικών/μετεωρολογικών ή τοπογραφικών δεδομένων που απαιτούνται όπως η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max}), η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{min}), το υψόμετρο (z), η μέση ταχύτητα του ανέμου (u₂) και η σχετική υγρασία (RH%) βασίστηκε σε δεδομένα μετρητικών σταθμών διαθέσιμων στο διαδίκτυο. (<http://www.wunderground.com/global/stations/16716.html?MR=1> και <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php>)

▪ Για τον υπολογισμό της καθαρής ακτινοβολίας R_n από τη διαφορά της καθαρής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (R_{ns}) και της καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (R_{nl}), οι τιμές για το Ra, N και n αναζητήθηκαν στις ιστοσελίδες (<http://www.wunderground.com/global/stations/16716.html?MR=1> και

<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php>) ή όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμες αποδόθηκαν τιμές που αναζητήθηκαν στη μελέτη του FAO στην οποία βασίστηκαν οι υπολογισμοί. Στο φύλλο υπολογισμών η επίδραση της θερμότητας του εδάφους (soil heat flux) G, αγνοείται για τις περιπτώσεις υπολογισμών σε ημερήσιο χρονικό βήμα καθώς το μέγεθος της ροής θερμότητας σε αυτές τις περιπτώσεις θεωρείται αμελητέο.

- Ακολουθώντας τις εξισώσεις που αναφέρονται στον Πίνακα υπολογίζεται τελικά η τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETo.

3 Μετρούμενες Παράμετροι – Παράμετροι Βαθμονόμησης

Πίνακας Π 3 Μετρούμενες παράμετροι Μονάδων Κατανάλωσης

Measured parameters - Unit Block Scale								
Cluster Type	Cluster ID	No of blocks in a cluster	Average household occupancy	Area of unit block	Area of unit block garden	Area of unit block roof	Area of unit block pavement	Per cent of unit block garden irrigated as a%
		>=0	>=0	m2>=0	m2>=0	m2>=0	m2>=0	GI%
type 2	Cluster 1	6833	8,79	668	61	553	54	50
type 2	Cluster 2	3587	4,45	804	75	679	50	50
type 5	Cluster 3	12463	0,90	273	12	226	35	10
type 3	Cluster 4	6224	1,27	131	11	99	21	50
type 2	Cluster 5	1445	4,16	949	89	803	58	50
type 1	Cluster 6	1381	3,53	1145	107	960	78	50
type 2	Cluster 7	5559	2,29	482	46	416	20	50
type 2	Cluster 8	5783	6,88	698	64	572	62	50
type 4	Cluster 9	19285	1,29	394	18	338	39	10
type 3	Cluster 10	5190	12,22	304	26	233	46	50
type 2	Cluster 11	2345	6,63	574	52	468	54	50
type 2	Cluster 12	2590	5,33	577	52	471	54	50
type 3	Cluster 13	4963	2,82	533	48	429	56	50
type 3	Cluster 14	1884	3,30	392	33	299	60	50
type 3	Cluster 15	16398	0,90	436	38	342	57	50
type 2	Cluster 16	8747	1,18	737	69	622	47	50
type 3	Cluster 17	5966	11,26	621	57	510	55	50
type 5	Cluster 18	8307	0,43	269	12	224	33	10
type 3	Cluster 19	4497	18,11	380	33	297	49	50
type 3	Cluster 20	3610	6,99	446	38	346	62	50
type 2	Cluster 21	4743	3,63	426	39	352	34	50
type 4	Cluster 22	14190	5,49	260	11	217	31	10
type 2	Cluster 23	12527	6,68	744	69	618	58	50
type 1	Cluster 24	2250	5,93	888	80	723	85	50
type 1	Cluster 25	1650	2,94	1281	121	1090	69	50
type 1	Cluster 26	2837	5,44	683	62	555	67	50
type 1	Cluster 27	2540	6,39	842	78	698	67	50
type 2	Cluster 28	4128	2,59	596	55	495	47	50
type 2	Cluster 29	11415	1,20	638	59	530	49	50
type 5	Cluster 30	10956	6,34	283	13	238	32	10
type 2	Cluster 31	2056	10,16	475	41	370	64	50
type 3	Cluster 32	12510	1,95	308	29	261	18	50
type 2	Cluster 33	7832	6,19	384	35	312	38	50
type 3	Cluster 34	4206	5,78	447	40	364	43	50
type 1	Cluster 35	2476	2,73	865	81	731	53	50
type 4	Cluster 36	27356	7,60	373	17	314	43	10
type 1	Cluster 37	5842	3,06	1863	176	1582	105	50
type 1	Cluster 38	23246	5,83	888	82	739	67	50
type 2	Cluster 39	36476	3,63	543	49	440	55	50
type 3	Cluster 40	6129	1,07	356	32	287	37	50
type 1	Cluster 41	17066	3,17	569	54	489	26	50

type 5	Cluster 42	79461	6,10	238	10	199	29	10
type 5	Cluster 43	19719	5,35	256	11	210	35	10
type 5	Cluster 44	35543	5,58	265	12	221	32	10
type 2	Cluster 45	6630	7,01	814	76	683	55	50
type 3	Cluster 46	8790	6,43	381	33	301	47	50
type 3	Cluster 47	14333	7,62	609	56	500	54	50
type 1	Cluster 48	9885	2,37	485	46	412	27	50
type 4	Cluster 49	14807	12,94	417	19	353	45	10
type 4	Cluster 50	33776	4,84	315	14	263	39	10
type 4	Cluster 51	64078	12,50	380	17	318	45	10
type 1	Cluster 52	6719	4,68	1222	57	1085	80	10

Πίνακας Π 4 Μετρούμενες παράμετροι Συγκροτημάτων

Measured parameters - Cluster Scale								
Cluster Type	Cluster ID	Total area of cluster in hectares	Road area in hectares,	Area of public open space in hectares	Per cent of public open space irrigated as a %	Water supply leakage rate	Cluster stormwater output flows into cluster No? specific cluster number or 0	Cluster wastewater output flows into Cluster No? specific cluster number or 0
		>=0	>=0	>=0	GI%	a%		
type 2	Cluster 1	663	147	59	50	20	0	0
type 2	Cluster 2	361	71	1	50	20	0	0
type 5	Cluster 3	497	129	28	30	20	0	0
type 3	Cluster 4	532	53	397	50	20	0	0
type 2	Cluster 5	171	33	1	50	20	0	0
type 1	Cluster 6	286	43	84	50	20	0	0
type 2	Cluster 7	608	45	295	50	20	0	0
type 2	Cluster 8	574	144	26	50	20	0	0
type 4	Cluster 9	998	225	12	30	20	0	0
type 3	Cluster 10	437	83	196	50	20	0	0
type 2	Cluster 11	240	51	55	50	20	0	0
type 2	Cluster 12	283	55	78	50	20	0	0
type 3	Cluster 13	363	98	1	50	20	0	0
type 3	Cluster 14	147	39	34	50	20	0	0
type 3	Cluster 15	1088	327	46	50	20	0	0
type 2	Cluster 16	848	163	40	50	20	0	0
type 3	Cluster 17	487	114	3	50	20	0	0
type 5	Cluster 18	318	83	12	30	20	0	0
type 3	Cluster 19	406	78	157	50	20	0	0
type 3	Cluster 20	284	78	45	50	20	0	0
type 2	Cluster 21	534	65	267	50	20	0	0
type 4	Cluster 22	655	134	153	30	20	0	0
type 2	Cluster 23	1305	253	119	50	20	0	0
type 1	Cluster 24	283	77	7	50	20	0	0
type 1	Cluster 25	328	46	71	50	20	0	0
type 1	Cluster 26	454	76	185	50	20	0	0
type 1	Cluster 27	754	68	472	50	20	0	0
type 2	Cluster 28	398	77	75	50	20	0	0
type 2	Cluster 29	1177	226	222	50	20	0	0

type 5	Cluster 30	420	106	4	30	20	0	0
type 2	Cluster 31	188	53	37	50	20	0	0
type 3	Cluster 32	798	78	335	50	20	0	0
type 2	Cluster 33	769	118	349	50	20	0	0
type 3	Cluster 34	275	72	15	50	20	0	0
type 1	Cluster 35	310	52	44	50	20	0	0
type 4	Cluster 36	1472	349	104	30	20	0	0
type 1	Cluster 37	1401	246	67	50	20	0	0
type 1	Cluster 38	3172	621	487	50	20	0	0
type 2	Cluster 39	4216	800	1435	50	20	0	0
type 3	Cluster 40	402	92	92	50	20	0	0
type 1	Cluster 41	3099	177	1951	50	20	0	0
type 5	Cluster 42	2724	685	148	30	20	0	0
type 5	Cluster 43	748	206	39	30	20	0	0
type 5	Cluster 44	1315	345	28	30	20	0	0
type 2	Cluster 45	714	146	28	50	20	0	0
type 3	Cluster 46	621	144	142	50	20	0	0
type 3	Cluster 47	1169	271	25	50	20	0	0
type 1	Cluster 48	1759	107	1173	50	20	0	0
type 4	Cluster 49	839	201	22	30	20	0	0
type 4	Cluster 50	1770	393	312	30	20	0	0
type 4	Cluster 51	3887	870	582	30	20	0	0
type 1	Cluster 52	1073	215	36	50	20	0	0

Πίνακας Π 5 Παράμετροι βαθμολόγησης για τον υπολογισμό απορροής ομβρίων υδάτων

STORMWATER											
	Per cent area of pervious store 1 as a%	Capacity of pervious store 1 in mm	Capacity of pervious store 2 in mm	Roof area maximum initial loss in mm	Effective roof area as a%	Paved area maximum initial loss in mm	Effective paved area as a %	Road area maximum initial loss in mm	Effective road area as a%	Base flow index as a ratio	Base flow recession constant as a ratio
	A1	PS1	PS2	RIL	ERA	PIL	EPA	RDIL	ERDA	BI	BRC
Cluster 1	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 2	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 3	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 4	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 5	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 6	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 7	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 8	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 9	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 10	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 11	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 12	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 13	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 14	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 15	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 16	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 17	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025

Cluster 18	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 19	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 20	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 21	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 22	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 23	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 24	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 25	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 26	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 27	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 28	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 29	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 30	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 31	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 32	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 33	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 34	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 35	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 36	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 37	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 38	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 39	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 40	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 41	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 42	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 43	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 44	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 45	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 46	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 47	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 48	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 49	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 50	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 51	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025
Cluster 52	50	20	20	0	100	0	100	0	100	0,3	0.0025

Πίνακας Π 6 Παράμετροι βαθμολόγησης για τον υπολογισμό υγρών αποβλήτων και νερού ύδρευσης

	WASTEWATER			WATER USE	
	Infiltration index as a ratio	Infiltration store recession constant as a ratio	Per cent of surface runoff as inflow as a%	Garden trigger to irrigate as a ratio	Public open space trigger to irrigate as a ratio
	II	IRC	I	TG	POSTG
Cluster 1	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 2	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 3	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 4	0,2	0.05	2	0,8	0,7

Cluster 5	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 6	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 7	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 8	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 9	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 10	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 11	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 12	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 13	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 14	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 15	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 16	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 17	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 18	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 19	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 20	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 21	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 22	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 23	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 24	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 25	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 26	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 27	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 28	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 29	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 30	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 31	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 32	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 33	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 34	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 35	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 36	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 37	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 38	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 39	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 40	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 41	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 42	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 43	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 44	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 45	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 46	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 47	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 48	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 49	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 50	0,2	0.05	2	0,8	0,7
Cluster 51	0,2	0.05	20	0,8	0,7
Cluster 52	0,2	0.05	2	0,8	0,7

4 Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο Aquacycle

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε 2 βήματα. (των 25 και 27 Συγκροτημάτων), καθώς το μοντέλο δεν έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει προσομοίωση και για τα 52 Συγκροτήματα ταυτόχρονα. Παρακάτω παρατίθεται η κύρια φόρμα του Aquacycle. Επιπλέον παρουσιάζονται οι φόρμες εισόδου δεδομένων:

- Προφίλ οικιακής κατανάλωσης
- Μετρούμενων παραμέτρων
- Παραμέτρων βαθμονόμησης
- Παραμέτρων μονάδων κατανάλωσης
- Παραμέτρων Συγκροτημάτων
- Παραμέτρων Αστικής Περιοχής

Aquacycle Version 1.0.0

File Edit Run View Help

Input files:

Load group Load climate View file list

Climate file details:
Athens_Catchment

Catchment details:

Catchment size 12695 hectares

Number of clusters 25

Simulation details:

Start year 2005

End year 2005

No. of years 1 Run time of last simulation:

Write output files:

Daily Monthly Annual

Monthly and annual output file units:
 kLy MLy

Directory output files written to:
C:\Program Files\Toolkit\Aquacycle\Results

Run Exit

Input Edit Screen

File Edit GoTo

Indoor water usage profile, L/hh/d

Profile information:
Athens2005

OCCUPANCY	Kitchen	Bathroom	Toilet	Laundry
One	46	71	38	55
Two	92	143	76	109
Three	139	214	114	164
Four	185	286	151	219
Five	231	357	189	273
Six	277	429	227	328
Seven	324	500	265	383

Ratio of kitchen use from hot water

Ratio of bathroom use from hot water

Ratio of laundry use from hot water

Input Edit Screen

File Edit GoTo

Number of Clusters: **Measured Parameters** Note: yes = 1 and no = 0

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8
UNIT BLOCK SCALE								
No. of blocks	6833	3587	12463	6224	1445	1381	5559	578
Average occupancy	8.8	4.5	0.9	1.3	4.2	3.5	2.3	6.9
Area of unit block, m ²	668	804	273	131	949	1145	482	698
Area of garden, m ²	61	75	12	11	89	107	46	64
Area of roof, m ²	553	679	226	99	803	960	416	572
Area of pavement, m ²	54	50	35	21	58	78	20	62
Per cent of garden irrigated, %	50	50	10	50	50	50	50	50
CLUSTER SCALE								
Total area of cluster, hectares	663	361	497	532	171	286	608	574
Road area, hectares	147	71	129	53	33	43	45	144
Area of public open space, hectares	59	1	28	397	1	84	295	26
Per cent of public open space irrigated, %	50	50	30	50	50	50	50	50
Leakage rate, %	20	20	20	20	20	20	20	20
Stormwater output flows into Cluster No.?	0	0	0	0	0	0	0	0
Wastewater output flows into Cluster No.?	0	0	0	0	0	0	0	0

Input Edit Screen

File Edit Go To

Number of Clusters: **Calibration Parameters** Note: yes =1 and no = 0

	Range	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6
STORMWATER							
Per cent area of pervious store 1, %	0 to 100	50	50	50	50	50	50
Capacity of pervious store 1, mm	>=0	20	20	20	20	20	20
Capacity of pervious store 2, mm	>=0	20	20	20	20	20	20
Roof area maximum initial loss, mm	>=0	0	0	0	0	0	0
Effective roof area, %	0 to 100	100	100	100	100	100	100
Paved area maximum initial loss, mm	>=0	0	0	0	0	0	0
Effective paved area, %	0 to 100	100	100	100	100	100	100
Road area maximum initial loss, mm	>=0	0	0	0	0	0	0
Effective road area, %	0 to 100	100	100	100	100	100	100
Base flow index, ratio	0 to 1	.3	.3	.3	.3	.3	.3
Base flow recession constant, ratio	0 to 1	.0025	.0025	.0025	.0025	.0025	.0025
WASTEWATER							
Infiltration index, ratio	0 to 1	.2	.2	.2	.2	.2	.2
Infiltration store recession constant, ratio	0 to 1	.05	.05	.05	.05	.05	.05
Per cent of surface runoff as inflow, %	0 to 100	2	2	2	2	2	2
WATER USE							
Garden trigger-to-irrigate, ratio	0 to 1	.8	.8	.8	.8	.8	.8

OK

Input Edit Screen

File Edit Go To

Number of Clusters: **Unit Block** Note: yes =1 and no = 0

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6
IMPORTED WATER						
Supply garden irrigation with imported water?	1	1	1	1	1	1
RAIN TANK						
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0
First flush, Litres	0	0	0	0	0	0
Hot water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Kitchen cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Bathroom cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Laundry cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Toilet water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Garden irrigation from rain tank?	0	0	0	0	0	0
SUB-SURFACE GREYWATER IRRIGATION						
Kitchen greywater for sub-surface irrigation?	0	0	0	0	0	0
Bathroom greywater for sub-surface irrigation?	0	0	0	0	0	0
Laundry greywater for sub-surface irrigation?	0	0	0	0	0	0
WASTEWATER TREATMENT AND STORAGE						

OK

Input Edit Screen

File Edit Go To

Number of Clusters: **Cluster** Note: yes =1 and no = 0

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Clus
CLUSTER SCALE STORMWATER STORAGE							
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0	0
First flush, m ³	0	0	0	0	0	0	0
Road runoff to stormwater store?	0	0	0	0	0	0	0
Collect stormwater from upstream clusters?	0	0	0	0	0	0	0
CLUSTER SCALE WASTEWATER TREATMENT AND STORAGE							
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0	0
Collect wastewater from upstream clusters?	0	0	0	0	0	0	0
Storage overflow to sewer?	0	0	0	0	0	0	0
Storage overflow to stormwater?	0	0	0	0	0	0	0
AQUIFER STORAGE AND RECOVERY							
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0	0
Maximum recharge rate, m ³ /d	0	0	0	0	0	0	0
Maximum recovery rate, m ³ /d	0	0	0	0	0	0	0

OK

Input Edit Screen

File Edit Go To

Catchment Note: yes =1 and no = 0

	Value
CATCHMENT PROPERTIES	
Catchment size, hectares	12695
STORMWATER STORAGE	
Storage capacity, m ³	0
Exposed surface area, m ²	0
First flush, m ³	0
WASTEWATER TREATMENT & STORAGE	
Storage capacity, m ³	0
Exposed surface area, m ²	0
Storage overflow to stormwater not sewer?	0

OK

5 Λεξικό Όρων

Gray Water: (Γκρίζο νερό) Τα απόβλητα που προέρχονται από τις οικιακές χρήσεις (λουτρό, πλυντήριο, κουζίνα κτλ.)

Black Water: (Μαύρο νερό) Είναι τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από την τουαλέτα και συνήθως συλλέγονται μέσω του συστήματος συλλογής υγρών αποβλήτων για να καταλήξουν σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας.

Cluster: (Συγκρότημα) Αναπαριστά μια γειτονιά ή ένα προάστιο και αποτελείται από ένα σύνολο πανομοιότυπων Μονάδων Κατανάλωσης, στο οποίο περιλαμβάνονται δρόμοι και ανοικτοί χώροι.

Unit Block: (Μονάδα Κατανάλωσης) Μικρότερη κλίμακα κατανάλωσης, η οποία μπορεί να είναι ένα σπίτι, μια βιομηχανική, μια εμπορική ή δημόσια δραστηριότητα να περιλαμβάνει ένα (ή περισσότερα κτήρια), εκτάσεις καλυμμένες με αδιαπέρατο υλικό, (πεζοδρόμια ή πλακόστρωτες εκτάσεις κτλ.) και περιοχές που καλύπτονται από πράσινο.

Catchment: (Συνολική Αστική Περιοχή) Είναι η συνολική περιοχή η οποία περιλαμβάνει έναν αριθμό από Συγκροτήματα (Clusters) που μπορεί να είναι οικίες, βιομηχανίες ή εμπορικές δραστηριότητες.

Precipitation: Κατακριμνήσεις

Runoff: Απορροή ομβρίων υδάτων

Pervious Surface Runoff: Απορροή ομβρίων υδάτων από διαπερατές περιοχές (περιοχές που δεν καλύπτονται από τεχνητές επιφάνειες)

Inflow: Εισροή ομβρίων υδάτων στο σύστημα αποχέτευσης.

Infiltration: Διήθηση υγρασίας στο σύστημα αποχέτευσης.

Groundwater Recharge: Επαναφόρτιση υπόγειου υδροφορέα.

Average household occupancy: Μέση δυναμικότητα κάθε νοικοκυριού

Area of unit block: Η έκταση που καταλαμβάνει η Μονάδα Κατανάλωσης

Area of unit block roof: Η έκταση που καταλαμβάνει η στέγη της Μονάδας Κατανάλωσης

Area of unit block pavement: Η έκταση που καταλαμβάνει η πλακόστρωτη/τεχνητή επιφάνεια της Μονάδας Κατανάλωσης

Percentage of garden/Public Open Space irrigated: Ποσοστό των διαπερατών περιοχών (κήποι, ανοικτοί δημόσιοι χώροι) που αρδεύονται

Pervious Area: (Διαπερατή περιοχή) Είναι ο τύπος των περιοχών που δεν καλύπτονται από τεχνητές επιφάνειες όπως αυτές περιγράφονται από το Aquacycle, όπως οι κήποι και οι ανοικτοί δημόσιοι χώροι. Το χαρακτηριστικό αυτών των επιφανειών είναι ότι μπορεί να είναι αρδευόμενες ή όχι και οι εισροές νερού που δέχονται καταλήγουν στο υπέδαφος, ή μέρος αυτών, στο σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων ή υγρών αποβλήτων.

Impervious Area: (Αδιαπέρατη περιοχή). Είναι περιοχές που καλύπτονται από τεχνητές επιφάνειες και υλικά. Σύμφωνα με το Aquacycle, αδιαπέρατες επιφάνειες θεωρούνται οι δρόμοι, οι πλακόστρωτες επιφάνειες (πεζοδρόμια) και οι στέγες. Οι επιφάνειες αυτές είναι υπεύθυνες για την απορροή των ομβρίων υδάτων προς το σύστημα συλλογής ομβρίων.

Trigger to irrigate: Το μοντέλο Aquacycle υπολογίζει τις ανάγκες άρδευσης μιας διαπερατής περιοχής (κήπος, ανοικτοί δημόσιοι χώροι) ως την επιπρόσθετη ποσότητα που πρέπει να δοθεί, εκτός από εκείνη που αποδίδεται μέσω των κατακριμνήσεων, ώστε να διατηρείται η υγρασία του εδάφους της περιοχής σε επιθυμητά επίπεδα. Αυτό ακριβώς το επίπεδο υγρασίας υποδηλώνεται μέσω μιας παραμέτρου βαθμονόμησης που ονομάζεται “trigger to irrigate”. Η στιγμή κατά την οποία ξεκινά η άρδευση είναι όταν η υγρασία του εδάφους πέσει κάτω από αυτή την τιμή της παραμέτρου αυτής.