



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΙΧΑΗΛ Γ. ΔΑΣΚΑΛΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Δασκαλάκης Μιχαήλ του Γεωργίου

Φοιτητής

Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: mdaskalos@gmail.com

Αθήνα, 2011

Αφιερώνεται,

σε κάθε φοιτητή που προσφέρει αγόγγυστα και ανιδιοτελώς
βοήθεια στο συμφοιτητή ή φίλο του,
όπως την προσέφεραν και σε εμένα, όποτε χρειάστηκε,

στους αγωνιστές των πλατειών και σε κάθε άνθρωπο που αγωνίζεται ειρηνικά
για τη δικαιοσύνη και την ανθρώπινη αξιοπρέπεια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την τέλεση της διπλωματικής αυτής εργασίας, θα ήθελα κατ' αρχάς να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μακρόπουλο Χρήστο, Λέκτορα Ε.Μ.Π. για τη συνέπειά του, τις συμβουλές και την καθοδήγησή του, αλλά και την ευκαιρία που μου έδωσε, ώστε να γνωρίσω ένα πολύ ενδιαφέρον για εμένα επιστημονικό πεδίο.

Ευχαριστώ ακόμη τον κ. Ρόζο Ευάγγελο, Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την προθυμία και τη διαθεσιμότητά του, ώστε να με βοηθήσει στην κατανόηση κυρίως του υπολογιστικού προγράμματος UWOT. Χωρίς τη βοήθεια αυτή, ένα σημαντικό κομμάτι της εργασίας αυτής θα ήταν πολύ δυσκολότερο να πραγματοποιηθεί από εμένα.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω ακόμη στα ξαδέρφια μου, Αγγελική και Μιχαήλ Ανδρουλάκη για τη συνεχή συμπαράσταση, ενθάρρυνση, αλλά και έμπρακτη βοήθειά τους σε σημαντικές και κρίσιμες στιγμές της φοιτητικής μου πορείας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ προς τη Μυσιρλάκη Αικατερίνη για την υπομονή και τη βοήθειά της, όλο το διάστημα συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ τους Μουλουδάκη Βασίλειο, Οικονόμου Μαριλένα και όλους τους συμφοιτητές, αλλά και τους καθηγητές εκείνους που με έχουν βοηθήσει κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Χαιρετίζω τους καλούς μου φίλους για τις εμπειρίες που έχουμε ζήσει και την παρέα της Φοιτητικής Ένωσης Κρητών.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω μεγάλη ευγνωμοσύνη προς την οικογένειά μου και ιδιαιτέρως προς τους γονείς μου, όχι μόνο για τη δυνατότητα που μου έχουν δώσει να σπουδάσω, αλλά κυρίως για τον τρόπο που μας έχουν μεγαλώσει, για τις αρχές και τις αξίες που μας έχουν διδάξει, που αποτελούν τα πολυτιμότερα εφόδια ενός ανθρώπου στη ζωή.

Μ. Γ. Δασκαλάκης,

Ιούλιος 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	13
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1 Το Σκεπτικό (Background)	17
1.2 Σκοπός	18
1.3 Δομή Εργασίας	18
2 Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΙΔΕΑΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	21
2.1 Επαναχρησιμοποίηση Νερού	21
2.2 Κινητήριες Δυνάμεις	22
2.2.1 Λειψυδρία, Πιέσεις και Υποβάθμιση Υδατικών Πόρων	22
2.2.2 Αναπτυξιακοί Στόχοι Χιλιετίας	23
2.2.3 Λύσεις για τη Μείωση της Ζήτησης Πόσιμου Νερού	23
2.3 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικού Νερού (IUWM)– Εναλλακτικά Υδατικά Συστήματα	23
2.3.1 Προτεινόμενες Εφαρμογές	24
2.3.2 Βιωσιμότητα	26
2.3.3 Προς την Κατεύθυνση των Αποκεντρωμένων Συστημάτων Υδατικής Διαχείρισης	27
2.3.4 Παραδείγματα Εφαρμογών είτε Μελετών Εναλλακτικών Συστημάτων Υδατικής Διαχείρισης	29
2.4 Συστήματα Αξιοποίησης Βρόχινου Νερού	30
2.4.1 Γνωριμία με τα Συστήματα Βρόχινου Νερού	30
2.4.2 Συστατικά Μέρη του Συστήματος Οικιακής Συλλογής Βρόχινου Νερού (DRWH)	31
2.4.3 Ποιότητα Συλλεγόμενου Βρόχινου Νερού	33
2.4.4 Επεξεργασία Οικιακού Βρόχινου Νερού	33
2.4.5 Οφέλη Συστημάτων DRWH	34
2.4.6 Κόστος - Απόσβεση	34
2.5 Επαναχρησιμοποίηση Γκρι Νερού	35
2.5.1 Γνωριμία με το «Γκρι Νερό»	35
2.5.2 Οφέλη	35
2.5.3 Προβλήματα , Κίνδυνοι και Επεξεργασία	37
2.5.4 Όγκος Παραγόμενου Γκρι Νερού	38
2.5.5 Παραδείγματα Συστήματος Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού σε Κατοικία	41
2.5.6 Εμπειρίες από την Εφαρμογή της Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού	43
2.6 Ανακεφαλαίωση	43

3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	47
3.1	Δημόσια Υγεία	47
3.2	Διαφοροποίηση Χημικού και Μικροβιολογικού Κινδύνου	47
3.3	Το Εναρμονισμένο Πλαίσιο της Στοκχόλμης (Harmonised Framework)	48
3.3.1	Εκτίμηση Κινδύνου (Assessment of Risk)	50
3.3.2	Εκτίμηση των Ευρύτερων Περιβαλλοντικών Διεργασιών (Assess Environmental Exposure)	56
3.3.3	Αποδεκτός Κίνδυνος (Acceptable Risk)	56
3.3.4	Υγειονομικοί Στόχοι (Health targets)	59
3.3.5	Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management)	61
3.3.6	Κατάσταση Δημόσιας Υγείας (Public Health Status)	64
3.4	Ανακεφαλαίωση	65
4	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ	67
4.1	Φυσικά και Χημικά Χαρακτηριστικά	67
4.1.1	Φυσικά Χαρακτηριστικά	67
4.1.2	Χημικά Χαρακτηριστικά	68
4.1.3	Άλλες έρευνες	70
4.2	Παθογόνοι Μικροοργανισμοί στο Γκρι Νερό, Ανθρώπινη Έκθεση, Επιδημιολογικά Δεδομένα	71
4.2.1	Βακτηριακοί Δείκτες	71
4.2.2	Έκθεση σε Παθογόνα του Γκρι Νερού	72
4.2.3	Κοπρανικό Φορτίο (Faecal Load) – Συγκέντρωση Παθογόνων στο Γκρι Νερό	73
4.2.4	Επιβίωση των Κοπρανικών Παθογόνων εντός του Συστήματος Γκρι Νερού	74
4.2.5	Επιβίωση των Παθογόνων στο Έδαφος και στους Καρπούς των Καλλιεργειών	75
4.3	Ξενοβιοτικές Οργανικές Ουσίες	76
4.3.1	Μέθοδοι Ανάλυσης της Σύστασης των Χημικών Ουσιών	76
4.3.2	Κατηγοριοποίηση Ουσιών	77
4.4	Ανακεφαλαίωση	78
5	ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΌΡΙΑ	81
5.1	Κίνδυνοι από τη Χρήση του Ανεπεξέργαστου Γκρι Νερού για Αρδευτικούς Σκοπούς	81
5.1.1	Κίνδυνοι για την Υγεία	81
5.1.2	Κίνδυνοι για το Περιβάλλον	82
5.2	Υγειονομικοί Στόχοι (Health Targets)	82
5.3	Απαιτούμενη Μείωση Παθογόνων για την Ασφαλή Άρδευση και Κατανάλωση Καλλιεργούμενων Καρπών	83

5.4	Μείωση Έκθεσης σε Παθογόνους Παράγοντες	84
5.4.1	Επεξεργασία Γκρι Νερού	85
5.4.2	Περιορισμένη Καλλιέργεια	85
5.4.3	Τεχνικές Εφαρμογής	85
5.4.4	Εργάτες στα Αγροκτήματα-Γεωργοί	85
5.4.5	Το Χρονικό Διάστημα Αναμονής	86
5.4.6	Έλεγχος Εκθέσεως μετά τη Συγκομιδή	86
5.5	Όρια Επαναχρησιμοποίησης Μεικτών Λυμάτων	87
5.6	Όρια Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού	87
5.7	Ανακεφαλαίωση	88
6	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΚΡΙ ΝΕΡΟΥ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	91
6.1	Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας	91
6.2	Συστήματα Χημικής Επεξεργασίας	93
6.3	Συστήματα Βιολογικής Επεξεργασίας	94
6.4	Ανακεφαλαίωση	97
7	ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ	103
7.1	Κίνδυνοι Αστοχιών	103
7.2	Συντήρηση	104
7.3	Παρακολούθηση και Αξιολόγηση Σωστής Λειτουργίας (Monitoring & Assessment)	104
7.3.1	Επικύρωση	105
7.3.2	Παρακολούθηση της Λειτουργίας	105
7.3.3	Επαλήθευση	105
7.3.4	Μικρά Συστήματα και Κοινωνικός Παράγοντας	105
8	ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ (ACCEPTABILITY)	107
8.1	Παράγοντες που Επηρεάζουν την Κοινωνική Αποδοχή	107
8.1.1	Κοινωνιολογικοί Παράγοντες	107
8.1.2	Τρόπος Εφαρμογής – Εξοικείωση	108
8.1.3	Πολιτικοί Παράγοντες	108
8.2	Υπολογισμός και Προσομοίωση της Κοινωνικής Αποδοχής	109
8.2.1	Χαρακτηρισμός (Characterising)	110
8.2.2	Απεικόνιση – Ποσοτικοποίηση (Representing)	111
8.2.3	Διασύνδεση (Interfacing)	112
8.3	Αποδοχή από Γεωργούς και Καταναλωτές στην Κρήτη	113
8.3.1	Περιγραφή	113

8.3.2	Αποτελέσματα	114
8.4	Η Αποδοχή του Γκρι-Πράσινου Νερού στη Μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης	115
8.4.1	Περιγραφή	115
8.4.2	Προβλήματα – Αστοχίες	115
8.4.3	Γενικά Αποτελέσματα Αποδοχής	116
8.4.4	Αντιληπτός Κίνδυνος για Υγεία	117
8.4.5	Ικανοποίηση ως της τη Λειτουργία	117
8.4.6	Αντιληπτό Κόστος	117
8.4.7	Γενική Αποτίμηση	118
8.5	Άλλα Εφαρμοσμένα Παραδείγματα	118
8.5.1	Νότια Αυστραλία	118
8.5.2	Αρνητικό Αντίκτυπο από Παλαιότερη Πολιτική	119
8.5.3	Αγγλία: Προτίμηση Κατανάλωσης Προσωπικών Λυμάτων	119
8.6	Ανακεφαλαίωση	120
9	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	121
9.1	Διάκριση Μορφών Ενεργειακής Κατανάλωσης και Υδατικών Υποσυστημάτων	121
9.1.1	Άμεση και Έμμεση Κατανάλωση Ενέργειας	121
9.1.2	Διάκριση της Κατανάλωσης Ενέργειας στα Βασικά Υποσυστήματα του Τεχνικού Υδατικού Συστήματος	121
9.2	Μονάδες Μέτρησης Ενεργειακής Κατανάλωσης - Δείκτες	122
9.2.1	Ενεργειακό Αποτύπωμα Άνθρακα	123
9.3	Παράδειγμα Παραμέτρων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Συμβατικό Σύστημα Αποχέτευσης και Επεξεργασίας Λυμάτων - Φάση Λειτουργίας και Συντήρησης	124
9.3.1	Μεγέθη Ενεργειακής Κατανάλωσης	124
9.3.2	Κόστος Ενεργειακής Κατανάλωσης	126
9.3.3	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Ενεργειακής Κατανάλωσης	127
9.4	Παράγοντες που επηρεάζουν την Ενεργειακή Κατανάλωση Συστημάτων Γκρι Νερού	129
9.5	Τιμές Ενεργειακής Κατανάλωσης από Εφαρμογές Συστημάτων Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού	130
9.5.1	Αποτελέσματα Μελέτης για Σπιτικό 90 m ² Τριών Ενοίκων	132
9.5.2	Αποτελέσματα Μελέτης για Ξενοδοχείο Ογδόντα (80) Δωματίων, Τριών Ορόφων και 160 Ενοίκων	133
9.6	Ανακεφαλαίωση	134
10	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ	137
10.1	Άμεσα Αντιληπτό Χρηματικό Κόστος	137
10.2	Εξωτερικά Κόστη/Οφέλη (Externalities)	139
10.2.1	Κίνητρα από την Πολιτεία	140

10.3	Ανάλυση της Εκτίμησης Κόστους	140
10.3.1	Κόστος Κεφαλαίου	141
10.3.2	Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης (O&M Costs)	141
10.3.3	Διάρκεια ζωής	143
10.3.4	Απόσβεση της Επένδυσης	144
10.4	Αποτελέσματα της ανάλυσης του παραδείγματος	145
10.5	Κόστη που έχουν αναφερθεί στο Εμπόριο και σε Εφαρμογές	149
10.6	Ανακεφαλαίωση	150
11	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ	151
11.1	Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης Aquacycle	151
11.1.1	Χωρική και Χρονική Κλίμακα	151
11.1.2	Αναπαράσταση του Υδατικού Κύκλου	152
11.1.3	Κατηγορίες Δεδομένων Εισαγωγής	153
11.1.4	Βαθμονόμηση και Επαλήθευση	155
11.1.5	Δυνατότητες και Αδυναμίες	155
11.2	Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης UVQ	156
11.2.1	Αναπαράσταση Αστικού Υδατικού Συστήματος	156
11.2.2	Απαιτήσεις Δεδομένων Εισαγωγής.	157
11.2.3	Διεργασίες Επεξεργασίας.	158
11.2.4	Παραγόμενο Αποτέλεσμα.	158
11.3	Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης UWOT	159
11.3.1	Τύποι Υδάτων	159
11.3.2	Λογισμικό	161
11.3.3	Χωρική Κλίμακα και Χρονική Κλίμακα	161
11.3.4	Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογικών (Technology Library)	163
11.3.5	Το UWOT_GUI.xls (Graphical User Interface)	164
11.3.6	Ποιότητα Νερού, Ενέργεια, Κόστος	168
11.3.7	Περιορισμοί του UWOT	170
11.4	Το Πρόγραμμα Switch CWB	170
11.5	Ανακεφαλαίωση	171
12	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ «ΑΓΚΙΣΤΡΙ» (CASE STUDY)	173
12.1	Περιγραφή της Νήσου Αγκίστρι	173
12.1.1	Κλίμα	174
12.1.2	Χρήσεις Γης	174
12.1.3	Προστασία Περιοχών	175
12.1.4	Υδρευση	178
12.1.5	Υδατική Κατανάλωση	178
12.1.6	Αποχέτευση	181
12.1.7	Όμβρια	181

12.1.8	Κόστος Νερού	182
12.2	Προσομοίωση υδατικής κατανάλωσης με το UWOT – Σενάριο 0	183
12.2.1	Καθορισμός Ομοιωμάτων και Κτιριακών Τύπων	183
12.2.2	Πλήθος Κτιρίων και Μέγεθος Κατοίκησης για κάθε Κτιριακό Τύπο, σε κάθε Οικισμό	184
12.2.3	Χρονικό Βήμα, Πλήθος Χρονικών Βημάτων, Βροχή και Χρονοσειρά Συντελεστών Ζήτησης	189
12.2.4	Συσκευές Υδατικής Χρήσεως και Συχνότητα Χρήσεως Αυτών (Appliances and Frequencies)	190
12.2.5	Αποτελέσματα Προσομοίωσης και Σύγκριση με τη Μετρημένη στην Πραγματικότητα Κατανάλωση	195
12.3	1^ο Εναλλακτικό Σενάριο – Συσκευές Μειωμένης Κατανάλωσης Νερού	198
12.3.1	Χρησιμοποίηση Συσκευών Εξοικονόμησης Νερού	198
12.3.2	Προσθήκη Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων	199
12.4	2^ο και 3^ο Εναλλακτικό Σενάριο	200
12.4.1	Πηγές Γκρι Νερού και Εφαρμογές Πράσινου Νερού	201
12.4.2	Εκτίμηση των Επιφανειών κάθε Τύπου Κτιρίου	201
12.4.3	Εκτίμηση των Επιφανειών των Δημόσιων Χώρων	202
12.4.4	2 ^ο Εναλλακτικό Σενάριο: Μέγιστη Εξοικονόμηση νερού, Κεντρικά Συστήματα	203
12.4.5	3 ^ο Εναλλακτικό Σενάριο: Τοπικά Συστήματα (Onsite systems)	205
12.5	Αποτελέσματα της Προσομοίωσης με το UWOT	207
12.5.1	Ολοκληρωμένη Σύγκριση Σεναρίων	208
12.5.2	Σύγκριση Υδατικής Κατανάλωσης Πόσιμου Νερού	216
12.5.3	Προοπτικές Απόσβεσης	221
12.5.4	Συμπεράσματα - Σκέψεις	224
12.6	Ανακεφαλαίωση	224
13	ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	227
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	229
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	237
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	249

Περίληψη

Η αύξηση του πληθυσμού και της υδατικής ζήτησης στις πόλεις και η ρύπανση των υδατικών πόρων, έχουν οδηγήσει πολλά κράτη του ανεπτυγμένου κόσμου στην ανάπτυξη εφαρμογών αξιοποίησης βρόχινου νερού, είτε εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων ή γκρι νερού, είτε σε κεντρικό, είτε σε αποκεντρωμένο επίπεδο. Στη βάση του ευρύτερου πλαισίου της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικού νερού, τα αποκεντρωμένα συστήματα αρχίζουν και παρουσιάζουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών κεντρικών συστημάτων.

Συνήθως το νερό της βροχής στις στέγες είναι καλής ποιότητας, ενώ ο ρυθμός παραγωγής διαθέσιμου νερού εξαρτάται μεταξύ άλλων και από κλιματικούς παράγοντες. Αντιθέτως, η παραγωγή γκρι νερού είναι σταθερή κι εξαρτάται από τις συνήθειες κατανάλωσης των κατοίκων. Ο απαραίτητος όγκος των δεξαμενών γκρι νερού είναι μικρότερος. Το νερό που καταναλώνεται κατά τη χρήση της τουαλέτας εκτιμάται να αποτελεί περίπου το 30% επί της συνολικής κατανάλωσης, ενώ κάποιες μέσες καταναλώσεις που έχουν αναφερθεί κυμαίνονται μεταξύ 21-33 L/άτομο/ημέρα.

Για κάθε αστικό υδατικό σύστημα ευρείας εφαρμογής είναι απαραίτητη η εκτίμηση και διαχείριση του κινδύνου για την υγεία, αλλά και για το περιβάλλον. Το πλαίσιο της Στοκχόλμης περιλαμβάνει τις διαδικασίες του εντοπισμού, της εκτίμησης και του χαρακτηρισμού του υπαρκτού κινδύνου, της εκτίμησης του αποδεκτού κινδύνου, τη θέσπιση στόχων για την κατάσταση της δημόσιας υγείας και τις ενέργειες της διαχείρισης, που περιλαμβάνουν την αποτύπωση κρίσιμων σημείων ελέγχου, τη λήψη προληπτικών μέτρων και την παρακολούθηση της λειτουργίας και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων του συστήματος.

Η ποιότητα του γκρι νερού είναι κατά πολύ καλύτερη από αυτή των μεικτών λυμάτων. Το γκρι νερό συνεισφέρει περίπου το 10% της συνολικής ποσότητας αζώτου στο μεικτά λύματα, το 10-30% του συνολικού εισερχόμενου φωσφόρου και το 50% της άμεσα αποικοδομήσιμης οργανικής ύλης. Ωστόσο οι συγκεντρώσεις του COD είναι σημαντικές λόγω της χρήσης απορρυπαντικών πιάτων και ρούχων. Το γκρι νερό μπορεί να διαχωριστεί ανάλογα με την προέλευσή του στα απόνερα του μπάνιου, του πλυντηρίου ρούχων και της κουζίνας. Τα απόνερα της κουζίνας συχνά αποφεύγεται να συγκαταλέγονται ως γκρι νερό λόγω της αισθητά χαμηλότερης ποιότητάς των (οργανικό φορτίο, αιωρούμενα στερεά, άζωτο), ενώ το νερό του μπάνιου παρουσιάζει την καλύτερη ποιότητα.

Οι βασικοί κίνδυνοι για την υγεία, από την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού, εντοπίζονται στην ύπαρξη παθογόνων, που προέρχονται κυρίως από την κοπρανική ρύπανση του γκρι νερού, η οποία βέβαια είναι μικρότερη από αυτή των μεικτών λυμάτων. Ως βακτηριακός δείκτης συνηθίζεται να χρησιμοποιείται το βακτήριο E.coli. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετίζονται κυρίως με την υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους.

Πολλά μέτρα μπορούν αν ληφθούν για την προστασία από τα παθογόνα, μεταξύ αυτών και τεχνικά μέτρα επεξεργασίας. Οι μέθοδοι επεξεργασίας χωρίζονται σε μεθόδους φυσικής, χημικής και βιολογικής επεξεργασίας. Τα συστήματα φυσικής επεξεργασίας χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγαλύτερη διαύγεια, όμως δεν επαρκούν από μόνα τους. Οι χημική επεξεργασία μειώνει επιτυχώς τα αιωρούμενα στερεά, αλλά οι βιολογικές διαδικασίες κρίνονται ως οι πιο αποτελεσματικές (RBC, MBR, τεχνητοί υγρότοποι). Σχεδόν πάντοτε υπάρχει ένα στάδιο μετεπεξεργασίας με στόχο την απολύμανση.

Η κοινωνική αποδοχή είναι κρίσιμος παράγοντας για τη βιωσιμότητα ενός εναλλακτικού υδατικού συστήματος. Στην παρούσα εργασία αναφέρεται μία μεθοδολογία για την εκτίμηση του μεγέθους αυτού. Ένας τρόπος μέτρησής του είναι με τη βοήθεια των δεικτών WTU, WTP. Σε γενικές γραμμές οι ανεπτυγμένες κοινωνίες φαίνεται να αποδέχονται την πρακτική αυτή, όμως κρίσιμος παράγοντας αναδεικνύεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος και η μη πρόκληση αισθητών προβλημάτων.

Η ενέργεια και το κόστος είναι δύο ακόμη σημαντικοί παράγοντες βιωσιμότητας. Το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας στα συμβατικά συστήματα το καταλαμβάνουν τα στάδια της επεξεργασίας και της άντλησης. Στα συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού η ενεργειακές απαιτήσεις ενός τυπικού αντλιοστασίου κυμαίνονται $1 \div 3 \text{ kWh/m}^3$, ενώ γενικώς απαιτούνται περίπου $1,84 \div 3,7 \text{ kWh/m}^3$ για τη συνολική λειτουργία. Το κόστος των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης μετριάζεται με τα οφέλη, τα οποία μπορεί να είναι άμεσα ορατά, μπορεί όμως να είναι και έμμεσα και να μην γίνονται αντιληπτά. Έχει γίνει φανερό ότι με τη συμμετοχή αρκετών οικιστικών μονάδων σε κοινό σύστημα γκρι νερού μπορούν να μειωθούν σημαντικά τα κόστη κεφαλαίου και λειτουργίας και να επιτευχθεί αρκετά γρηγορότερα η απόσβεση. Το κόστος κεφαλαίου για συστήματα RBC κυμαίνεται περίπου $400 \div 1650 \text{ (US) \$}$ ανά διαμέρισμα, ενώ για συστήματα MBR $800 \div 4600 \text{ (US) \$}$ ανά διαμέρισμα.

Κάποια ανεπτυγμένα υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης είναι τα Aquacycle, UVQ, UWOT, Switch CWB. Το πρόγραμμα UVQ αποτελεί την εξέλιξη του Aquacycle και επιτρέπει εκτός της προσομοίωσης του αστικού υδατικού κύκλου και την προσομοίωση του ρυπαντικού φορτίου και του ρυπαντικού κύκλου. Επιπλέον επιτρέπονται περισσότεροι συνδυασμοί ύδρευσης και αποχέτευσης μεταξύ των διάφορων ροών. Το UWOT είναι πιο φιλικό στο χρήστη λόγω του περιβάλλοντος Excel και εκτός από την ποσότητα και ποιότητα του νερού προσομοιώνει και άλλους παράγοντες βιωσιμότητας όπως η κοινωνική αποδοχή, ο κίνδυνος για την υγεία, η χρήση γης... Ένα βασικό πλεονέκτημα του Switch CWB είναι η δυνατότητα προσομοίωσης και των εποχιακών μεταβολών της κατοίκησης μίας περιοχής, το οποίο είναι πολύ χρήσιμο για την προσομοίωση τουριστικών περιοχών για παράδειγμα.

Το πρόγραμμα UWOT εφαρμόζεται σε μια μελέτη περίπτωσης για το ελληνικό νησί «Αγκίστρι». Αρχικά προσομοιώνεται η υπάρχουσα κατάσταση κι έπειτα μελετώνται άλλα τρία εναλλακτικά σενάρια του αστικού υδατικού συστήματος. Στο 1^ο εισάγουμε «έξυπνες συσκευές», στο 2^ο γίνεται κεντρική επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού και κεντρική αξιοποίηση βρόχινου νερού. Στο 3^ο υιοθετούνται τοπικά (onsite) συστήματα βρόχινου νερού και τοπικά συστήματα γκρι νερού για τις ξενοδοχειακές μονάδες.

Η μεγαλύτερη κεντρική δεξαμενή διαστασιολογήθηκε 2970,6 m³, ενώ η μεγαλύτερη τοπική δεξαμενή διαστασιολογήθηκε 9,96 m³ και αντιστοιχεί σε παραθεριστική κατοικία. Για τους μόνιμους κατοίκους η ατομική κατανάλωση από 162,32 L/ημέρα/κάτοικο μπορεί να μειωθεί σε 85,35 L/ημέρα/κάτοικο με το 1^ο σενάριο, σε 37,04 L/ημέρα/κάτοικο με το 2^ο σενάριο και σε 68 L/ημέρα/κάτοικο με το 3^ο. Για όλο το νησί μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης πόσιμου νερού κατά 44,9% με το 1^ο σενάριο, κατά 71,2% με το 2^ο και κατά 61,9% με το 3^ο εναλλακτικό σενάριο. Βέβαια, το κόστος του 2^{ου} σεναρίου είναι δυσανάλογα μεγαλύτερο. Με την υπόθεση ενός επιτοκίου 2%, υπολογίζεται ότι το 1^ο σενάριο μπορεί να αποσβεστεί σε 6 έτη, το 2^ο σενάριο εκτιμάται ότι δεν δύναται να αποσβεστεί και το 3^ο σενάριο σε 36 έτη.

1 Εισαγωγή

Το νερό και ιδιαίτερα το καθαρό - πόσιμο νερό ήταν πάντοτε και παραμένει ένα πολύτιμο αγαθό, βιοτικής σημασίας για τον πληθυσμό κάθε περιοχής. Αποτελεί έναν πόρο οικονομικής ανάπτυξης, αφού πολλές από τις ανθρώπινες δραστηριότητες σχετίζονται και εξαρτώνται από αυτό. Η ποσότητα, η ποιότητα και η διαχείρισή του αγαθού αυτού είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το βιοτικό επίπεδο μιας κοινωνίας.

Στις μέρες μας, η αυξανόμενη χρήση του νερού λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, η ρύπανση που υφίστανται τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα σε πολλές περιοχές του πλανήτη, σε συνδυασμό με την ανισοκατανομή που συχνά εμφανίζει το νερό στο χρόνο και στο χώρο, έχουν αναδείξει την προστασία του πολύτιμου αυτού αγαθού ως ύψιστης σημασίας ζήτημα για κάθε κοινωνία.

Προς αυτήν την κατεύθυνση και παρατηρώντας τις μεγάλες ποσότητες πόσιμου νερού που διατίθενται για χρήσεις που θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν και με χαμηλότερης ποιότητας νερό, αναπτύσσονται, όλο και περισσότερο, εναλλακτικές προσεγγίσεις του τρόπου με τον οποίον θα μπορούσαμε να διαχειριστούμε το νερό. Συνήθως, η διαχείριση των υδατικών πόρων παραπέμπει σε χώρους της υπαίθρου, όπου αναπτύσσονται τα συστήματα συλλογής, αποθήκευσης και μεταφοράς του νερού. Πλέον, έχει ξεκινήσει να καλλιεργείται και να αναπτύσσεται η αντίληψη ότι και το νερό των πόλεων αποτελεί μια πηγή νερού, εναλλακτική, ξεχωριστή. Πρόκειται για τους αστικούς υδατικούς πόρους, οι οποίοι θεωρούνται ότι παράγονται εντός του αστικού χώρου.

1.1 Το Σκεπτικό (Background)

Κατά την ανάλυση του αστικού κύκλου του νερού, διακρίνουμε τρεις βασικές ροές που συνιστούν το αστικό υδατικό σύστημα: Την παροχή νερού, τη διάθεση λυμάτων και την αποχέτευση ομβρίων. Σύμφωνα με την παραδοσιακή προσέγγιση, οι υποδομές μεταφοράς του πόσιμου νερού, διάθεσης λυμάτων και αποχέτευσης ομβρίων είναι ξεχωριστές και αυτόνομες. Οι συνήθεις πρακτικές διαχείρισης του αστικού νερού έχουν ως στόχο την αποτελεσματική απομάκρυνση των νερών της βροχής και των λυμάτων από την αστική ζώνη.

Στην προσπάθεια μείωσης των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κερδίζει έδαφος μια εναλλακτική προσέγγιση, κατά την οποία γίνεται προσπάθεια διερεύνησης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης μέρους των ποσοτήτων νερού, που με τις συμβατικές μεθόδους απομακρύνονται ως αναπόφευκτα προϊόντα της αστικοποίησης. Με την εναλλακτική αυτή θεώρηση, τα νερά της βροχής και ένα μέρος των αστικών λυμάτων μπορούν να θεωρηθούν ως πιθανοί πόροι για μια ποσότητα του καταναλισκόμενου νερού, το οποίο με τη συμβατική θεώρηση παρέχεται εξολοκλήρου εισαγόμενο από το σύστημα ύδρευσης (Makropoulos et al., 2008).

Το «γκρι νερό» αποτελεί ένα μέρος των οικιακών λυμάτων που θεωρείται καλύτερης ποιότητας και ως εκ τούτου, αποτελεί έναν ελκυστικό μη συμβατικό υδατικό πόρο που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Με την επαναχρησιμοποίηση αυτή εξοικονομείται πολύτιμο πόσιμο νερό, αφού η κατανάλωση νερού δεν συμπίπτει πλέον με τη ζήτηση από τον κεντρικό φορέα διανομής πόσιμου νερού, αλλά καλύπτεται και από το «νέο» αυτόν πόρο.

Προς την κατεύθυνση της αξιοποίησης των αστικών υδατικών πόρων, χρειάζεται μια συνολική ματιά, όπου η κάθε ροή θα είναι ένα κομμάτι του ενοποιημένου πλέον υδατικού συστήματος. Συχνά στη βιβλιογραφία συναντάται με τον όρο: «Ολοκληρωμένη διαχείριση αστικού νερού», (Integrated Urban Water Management) (IUWM) (Fletcher and Deletic, 2008). Χρειάζεται λοιπόν ένα πλαίσιο για τον προσδιορισμό της ζήτησης νερού, τη διαθεσιμότητα του όγκου των συλλεγόμενων όμβριων υδάτων, των συλλεγόμενων λυμάτων και των μεταξύ αυτών αλληλεπιδράσεων (Mitchell et al., 2001). Είναι σαφές ότι οι αλληλεπιδράσεις αυτές με τη νέα προσέγγιση είναι πολύ εντονότερες, αφού μια αλλαγή σε μια ροή είναι πιθανό να επιδρά και να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά μιας άλλης. Για παράδειγμα η χρήση τεχνολογιών επαναχρησιμοποίησης επιδρά μειώνοντας τη ζήτηση πόσιμου νερού, μειώνονται οι ποσότητες των αποχετευόμενων λυμάτων και μειώνονται οι απαιτήσεις για την επεξεργασία τους. Αλληλεπιδράσεις όμως υπάρχουν και σε οικονομικό και σε κοινωνικό επίπεδο. Απαιτείται λοιπόν μια συστημική αντίληψη των αλληλεπιδράσεων, ώστε η διαχείριση των εναλλακτικών συστημάτων αστικών υδατικών πόρων να μπορεί να επιδιώκει τη βελτιστοποίηση.

1.2 Σκοπός

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι καταρχάς η γνωριμία με το σχετικά νέο επιστημονικό πεδίο των μη συμβατικών συστημάτων διαχείρισης αστικών υδατικών πόρων. Επιχειρείται μια επισκόπηση επί κάποιων βασικών θεμάτων που συνοδεύουν την εφαρμογή των συστημάτων αυτών. Γίνεται εστίαση στην επαναχρησιμοποίηση του «γκρι» νερού και διερευνάται η εφαρμοσιμότητα κάποιων εναλλακτικών σεναρίων, σε μια μελέτη περίπτωσης επί του υδατικού συστήματος της ελληνικής νήσου «Αγκίστρι».

1.3 Δομή Εργασίας

Η εργασία αυτή ξεκινάει με μια γνωριμία με τα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης αστικού νερού. Στο κεφάλαιο 2 εντοπίζονται κάποια προβλήματα των συμβατικών συστημάτων και παρουσιάζονται οι νέες αντιλήψεις της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικού νερού, της επαναχρησιμοποίησης νερού και των αποκεντρωμένων συστημάτων. Γίνεται εκτενέστερη αναφορά στα συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού και αξιοποίησης βρόχινου νερού.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το πλαίσιο εκτίμησης και διαχείρισης κινδύνου που προτάθηκε στη Στοκχόλμη και αφορά γενικότερα τη διαχείριση του νερού και τους κινδύνους που υπάρχουν για την υγεία.

Έπειτα στα κεφάλαια 4 έως 7 γίνεται μια προσέγγιση πάνω στο θέμα της εκτίμησης και διαχείρισης κινδύνου, βασισμένη στο πλαίσιο της Στοκχόλμης, αλλά με εστίαση στην επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στη σύσταση και την

ποιότητα του γκρι νερού, στους πιθανούς κινδύνους που ελλοχεύουν για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον και σε προτεινόμενα ποιοτικά όρια, που μπορούν να χρησιμοποιούν ως αναφορά ασφαλείας οι εκάστοτε διαχειριστές τέτοιων συστημάτων. Ακόμα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εκροών του νερού για διάφορες μεθόδους επεξεργασίας, ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά τους, σε σχέση και με τα προαναφερθέντα όρια και γίνεται μια μικρή αναφορά στην αναγκαιότητα παρακολούθησης και ελέγχου της σωστής λειτουργίας και της αποτελεσματικότητας των μεθόδων αυτών.

Τα κεφάλαια 8,9,10 είναι αφιερωμένα σε άλλες, σημαντικές παράμετρους, που διαμορφώνουν τη βιωσιμότητα των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού. Συγκεκριμένα, αυτές είναι η αποδοχή από την κοινωνία που πρόκειται να χρησιμοποιήσει άμεσα είτε έμμεσα το γκρι νερό, η ενέργεια που καταναλώνεται λόγω των εφαρμογών αυτών και το οικονομικό κόστος.

Στο κεφάλαιο 11 αναφέρονται μερικά υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης αστικών υδατικών συστημάτων. Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στο πρόγραμμα UWOT. Το UWOT αποτελεί και το εργαλείο για την προσομοίωση του υδατικού συστήματος της ελληνικής νήσου Αγκίστρι, η οποία χρησιμοποιείται ως αντικείμενο της μελέτης περίπτωσης, στο κεφάλαιο 12. Στη μελέτη αυτή διερευνώνται και συγκρίνονται κάποια σενάρια, με σκοπό τη σύγκρισή τους όσον αφορά τη δυνατή εξοικονόμηση νερού και τη βιωσιμότητά τους γενικότερα.

Η Ανάπτυξη της Ιδέας των Εναλλακτικών Αστικών Υδατικών Συστημάτων

2.1 Επαναχρησιμοποίηση Νερού

Τη σημερινή εποχή, οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής νερού σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας. Μέχρι τώρα, το επεξεργασμένο νερό από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων συνήθως καταλήγει στη θάλασσα είτε σε ποτάμια. Κάποιες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι η άρδευση αγροτικών περιοχών, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν χρησιμοποιούνται για ύδρευση, η επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία, η αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής, η αστική επαναχρησιμοποίηση (πότισμα δημοσίων πάρκων, γηπέδων, κοιμητηρίων, πλύσιμο οχημάτων, πυροπροστασία κ.λ.π.). Ακόμη, σε περιοχές περιορισμένων διαθέσιμων υδατικών πόρων είναι πιθανή η πόσιμη επαναχρησιμοποίηση, είτε άμεση είτε έμμεση (π.χ. μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων) (Ανδρεαδάκης *et al.*, 2003).

Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη, που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και με οικονομικά οφέλη. Πρόκειται για μια ρεαλιστική επιλογή με σκοπό να καλυφθεί η ζήτηση των περιορισμένων διαθέσιμων υδατικών πόρων, να επεκταθούν οι αρδευτικές καλλιέργειες και να ικανοποιηθούν οι κανονισμοί ποιότητας του εναποτιθέμενου νερού στο περιβάλλον. Ενδεικτικό των οικονομικών οφελών είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες καλλιέργειες που αρδεύονται με επεξεργασμένα λύματα – όπως έχει παρατηρηθεί – σημειώνουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα από ό,τι εάν αρδεύονταν με πόσιμο νερό και ό,τι απαιτούν λιγότερα χημικά λιπάσματα. Όσον αφορά τους υδατικούς πόρους, ιδιαίτερα με την επαναχρησιμοποίηση για αρδευτικούς σκοπούς, μπορούν να εξοικονομηθούν σημαντικότερες υδατικές ποσότητες (Menegaki *et al.*, 2007). Χαρακτηριστικά, αναφέρουμε ως παράδειγμα ότι στην Κρήτη το 83% των υδατικών πόρων δεσμεύονται για αρδευτικούς σκοπούς (Tsagarakis *et al.*, 2001).

Προσοχή όμως πρέπει να δίνεται και στους διάφορους κινδύνους. Τέτοιοι είναι ο κίνδυνος για τη δημόσια υγεία από τη διάδοση μολυσματικών ασθενειών, ο κίνδυνος υπερβολικής συγκέντρωσης αζώτου σε καλλιέργειες που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση ωρίμανσης και παραγωγικές απώλειες, ο περιβαλλοντικός κίνδυνος υδατικής και εδαφικής ρύπανσης (π.χ. αλάτωση, χημική και τοξική ρύπανση) από τις υπερβολικές ποσότητες απόθεσης θρεπτικών στοιχείων και άλλων ουσιών (Menegaki *et al.*, 2007).

Διεθνείς οργανισμοί εκτιμούν ότι η μέση ετήσια αύξηση του όγκου επαναχρησιμοποίησης τέτοιων νερών στις ΗΠΑ, Κίνα, Ιαπωνία, Ισπανία και Αυστραλία κυμαίνεται από 25 έως 65%. Στο Ισραήλ σήμερα επαναχρησιμοποιείται το 75% των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και προβλέπεται ότι το ποσοστό αυτό, τα προσεχή έτη θα φθάσει στο 85%.

Ωστόσο, στον Ευρωπαϊκό χώρο απουσιάζει ένα κοινό ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων. Υπάρχει απλώς μια Οδηγία της

Ευρωπαϊκής Ένωσης «... περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων», όπου αναφέρεται (άρθρο 12, § 1) ότι: «Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο». Αρκετές χώρες όμως της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως η Γαλλία, η Ιταλία, η Κύπρος και πιο πρόσφατα η Ισπανία και η Πορτογαλία, έχουν θεσπίσει νομοθετικά πλαίσια χρήσης τέτοιων πόρων. Παράλληλα γίνεται προσπάθεια για την υιοθέτηση ενός κοινού θεσμικού πλαισίου χρήσης ανακυκλωμένου νερού στην περιοχή της Μεσογείου. (Ανδρεαδάκης κ.α., 2003 : Παρανυχιανάκης κ.α., 2009).

Στην Ελλάδα φαίνεται να επικρατεί μια σημαντική υστέρηση σε έργα χαμηλού κόστους, φιλικών στο περιβάλλον και υψηλής απόδοσης, συγκριτικά με τον υπόλοιπο Δυτικό κόσμο, που πιθανότατα οφείλεται στην περιορισμένη ενημέρωση των αρμοδίων, κυρίως των πολιτικών και φυσικά του ευρύτερου κοινού, καθώς επίσης στην ανυπαρξία σχετικού θεσμικού πλαισίου (Ευρωπαϊκού και Εθνικού). Η Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδας και η Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης εξέδωσαν το 2009 ένα προτεινόμενο πλαίσιο προτεινόμενων οδηγιών για την ανακύκλωση επεξεργασμένων εκρών αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα (Παρανυχιανάκης κ.α., 2009).

2.2 Κινητήριες Δυνάμεις

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, οι βασικές κινητήριες δυνάμεις που προωθούν την επαναχρησιμοποίηση του νερού σε όλον τον κόσμο είναι (WHO, 2006):

- Η αύξηση της λειψυδρίας, οι πιέσεις για τον πόρο αυτό και η ταυτόχρονη υποβάθμιση του γλυκού νερού, που προκύπτει συχνά και από ακατάλληλη διάθεση γενικότερα των λυμάτων.
- Η αύξηση του πληθυσμού, ιδιαίτερα σε συγκεκριμένα γεωγραφικά σημεία.
- Η αυξανόμενη αναγνώριση της αξίας του νερού ως πόρου.
- Οι Αναπτυξιακοί Στόχοι Χιλιετίας (MDGs), ιδιαιτέρως οι στόχοι για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και για την εξάλειψη της φτώχειας και της πείνας.

2.2.1 Λειψυδρία, Πιέσεις και Υποβάθμιση Υδατικών Πόρων

Εκτιμάται ότι τα επόμενα 50 περίπου χρόνια (από το 2006) περισσότερο από το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε χώρες που θα αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας. Παράλληλα, παρατηρείται ένας αυξημένος ανταγωνισμός μεταξύ γεωργικών και αστικών περιοχών, για την πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας γλυκό νερό, κάτι που αυξάνει τις πιέσεις για τον πόρο αυτό.

Υπάρχει όμως η δυνατότητα επεξεργασίας του νερού, είτε σε κεντρικό, είτε σε αποκεντρωμένο σύστημα επεξεργασίας, και η δυνατότητα χρησιμοποίησής του. Αυτό αποτρέπει τη διάθεσή του στα επιφανειακά νερά κι έτσι παράλληλα με την εξοικονόμηση νερού, μειώνεται και η μικροβιακή και χημική μόλυνσή του στα κατάντη.

Ταυτόχρονα, η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» που προωθείται όλο και περισσότερο, υποχρεώνει τους ανάντη χρήστες να επεξεργάζονται τα λύματά τους σε υψηλό βαθμό πριν τα απορρίψουν στα υδάτινα σώματα. Συνήθως μέχρι σήμερα, το κόστος της επεξεργασίας,

είτε το κόστος της απώλειας της ομαλής λειτουργίας του οικοσυστήματος το επωμιζόταν οι κοινωνίες που ζουν στα κατάντη. Όμως με την αναγνώριση της έννοιας της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτινων πόρων (που θα δούμε παρακάτω), συνειδητοποιούμε περισσότερο και τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στο περιβάλλον και στην οικονομία για τους κατάντη χρήστες. Έτσι, η επεξεργασία των λυμάτων κοντά στην πηγή τους αποτελεί μια επιλογή που εξετάζεται με ενδιαφέρον.

2.2.2 Αναπτυξιακοί Στόχοι Χιλιετίας

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού συνεισφέρει στους Αναπτυξιακούς Στόχους Χιλιετίας που τέθηκαν στις 8 Σεπτεμβρίου 2000 από τα Ηνωμένα Έθνη (MDGs). Οι στόχοι αυτοί είναι 8:

Στόχος 1: Εξάλειψη ακραίας φτώχειας και πείνας

Στόχος 2: Καθολική πρωτοβάθμια εκπαίδευση

Στόχος 3: Προώθηση της ισότητας των φύλων και χειραφέτηση των γυναικών

Στόχος 4: Μείωση της παιδικής θνησιμότητας

Στόχος 5: Βελτίωση της υγείας των εγκύων γυναικών.

Στόχος 6: Καταπολέμηση του ιού HIV/AIDS, της ελονοσίας και άλλων ασθενειών

Στόχος 7: Διασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας

Στόχος 8: Υιοθέτηση και επέκταση μιας παγκόσμιας συνεργασίας για αναπτυξιακά θέματα

Οι στόχοι στους οποίους μπορεί να συνεισφέρει μια τέτοια πρακτική είναι η εξάλειψη της ακραίας φτώχειας και πείνας και η διασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

2.2.3 Λύσεις για τη Μείωση της Ζήτησης Πόσιμου Νερού

Η γενική ανάγκη μείωσης της ζήτησης πόσιμου νερού μας έχει οδηγήσει στην αναζήτηση λύσεων, όπως οι εξής (*Friedler and Hadari, 2006*):

- Αύξηση της αποδοτικότητας των υφιστάμενων υποδομών (π.χ. μείωση απωλειών δικτύου).
- Εγκατάσταση αποδοτικότερων συσκευών, μειωμένης κατανάλωσης νερού.
- Η ευαισθητοποίηση των μελών της κοινωνίας και η ενημέρωση για τα προβλήματα από την υπερκατανάλωση νερού.
- Η επαναχρησιμοποίηση του νερού, θεωρώντας τα λύματα ως έναν εναλλακτικό υδατικό πόρο.

2.3 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικού Νερού (IUWM)– Εναλλακτικά Υδατικά Συστήματα

Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες και για τα επόμενα χρόνια, θα είναι αρκετά δύσκολη η εφαρμογή αποχετευτικών συστημάτων, λόγω της λιψυδρίας και ανεπαρκούς παροχής νερού που απαιτεί ένα τέτοιο σύστημα, είτε γενικότερα λόγω έλλειψης οικονομικών και άλλων πόρων. Σε κάποιες ανεπτυγμένες χώρες αναπτύσσονται με αυξανόμενο ρυθμό συστήματα επαναχρησιμοποίησης, είτε κεντρικά είτε αποκεντρωμένα, εξαιτίας των αυξανόμενων πιέσεων για ζητήματα δημόσιας υγείας και φυσικών πόρων. Και οι δύο παραπάνω περιπτώσεις εντάσσονται σε μια αναγκαιότητα μιας πιο εξορθολογισμένης

διαχείρισης των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Έτσι προκύπτει η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικού Νερού (Integrated Urban Water Management), η προσπάθεια δηλαδή να αξιοποιηθούν οι διαθέσιμοι πόροι με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, λαμβάνοντας υπόψιν παράλληλα και ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

Οι βασικές αρχές της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αστικού Νερού (IUWM) συνοψίζονται ως εξής (Mitchell, 2006):

- Λαμβάνονται υπόψιν όλες οι διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου, οι φυσικές και οι τεχνητές, επιφανειακές και υπόγειες, θεωρώντας ότι αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα.
- Εξετάζονται όλες οι ανάγκες για νερό, τόσο οι ανθρωπογενείς όσο και οι οικολογικές.
- Δίνεται έμφαση στις τοπικές ιδιαιτερότητες, λαμβάνοντας υπόψιν περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς, πολιτιστικούς και οικονομικούς παράγοντες.
- Στις διαδικασίες σχεδιασμού και λήψεως αποφάσεων συμπεριλαμβάνονται όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς.
- Γίνεται προσπάθεια να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα, με σκοπό την ισορροπία των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών αγαθών, βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

2.3.1 Προτεινόμενες Εφαρμογές

2.3.1.1 Επιτόπιος Διαχωρισμός και Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων

Όσον αφορά τη διαχείριση των λυμάτων, στην πορεία προς την ολοκληρωμένη διαχείριση, μπορούν να υιοθετηθούν συστήματα διαχωρισμού της πηγής (WHO, 2006). Ο διαχωρισμός μπορεί να οδηγήσει σε δύο μέρη, διαχωρίζοντας τα περιττώματα (κόπρανα, ούρα) από το γκρι νερό, είτε σε τρία μέρη, διαχωρίζοντας ούρα, κόπρανα και γκρι νερό. Τα κόπρανα μπορούν να αποτελέσουν υλικό κομποστοποίησης και να παραχθεί λίπασμα. Μάλιστα, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια βιοκαυσίμων (π.χ. ξύλο ιτιάς), ώστε να παραχθεί μια ποσότητα ενέργειας, που θα καλύπτει ένα μέρος των επιπρόσθετων ενεργειακών αναγκών. (Υπολογίζεται προσεγγιστικά ότι 1kg βιομάζας μπορεί να προσδώσει 1kWh.) Εναλλακτικά, από μια αναερόβια επεξεργασία των λυμάτων ή κοπράνων μπορεί να παραχθεί βιοαέριο, από την αξιοποίηση του οποίου μπορεί επίσης να παραχθεί ενέργεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι από το διαχωρισμό αυτό στην πηγή μειώνεται και το κόστος της επεξεργασίας των λυμάτων, αφού μειώνεται ο απαιτούμενος όγκος που οδηγείται προς επεξεργασία. Επίσης, τα λύματα αυτά έχουν μεγαλύτερο δυναμικό και η ανάκτηση ενέργειας κατά αυτόν καθίσταται ευκολότερη (Makropoulos and Butler, 2010).

Τα ούρα - επεξεργασμένα ή μη - μπορούν να διατεθούν με σχετικά ασφαλή τρόπο για τον εμπλουτισμό του εδάφους με πολύτιμα θρεπτικά στοιχεία. Το γκρι νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για ποικίλες χρήσεις όπως είναι η άρδευση, το καζανάκι της τουαλέτας, εξωτερικές οικιακές εργασίες. Με την επεξεργασία του γκρι νερού μειώνονται οι κίνδυνοι για την υγεία, επεκτείνονται οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησής του και αποφεύγεται η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι πρακτικές αυτές επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων μεταβάλλουν τα συμβατικά συστήματα αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων. Δημιουργούν την ανάγκη λειτουργίας πρόσθετων δικτύων, όπως είναι το δίκτυο αποχέτευσης γκρι νερού και το δίκτυο παροχής μη πόσιμου νερού. Επίσης, υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές επιλογές κεντρικής ή αποκεντρωμένης διαχείρισης. Για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα επιτόπιας ή κεντρικής συλλογής και επεξεργασίας του γκρι νερού, δηλαδή στα πλαίσια ενός νοικοκυριού, στα πλαίσια μιας μικρής ομάδας κατοικιών ή στα πλαίσια μιας πόλης. Το χαρακτηριστικό των αποκεντρωμένων συστημάτων (σε σχέση με τα κεντρικά συστήματα) είναι ότι η συλλογή, η επεξεργασία και η χρήση των πόρων (βρόχινου νερού, γκρι νερού, κοπράνων, μαύρου νερού) πραγματοποιούνται σε μικρή σχετικά απόσταση.

2.3.1.2 Αξιοποίηση Βρόχινου νερού

Παρόμοιες αποκεντρωμένες διατάξεις μπορούν να υιοθετηθούν και για τη συλλογή και την αξιοποίηση του βρόχινου νερού. Με τις συμβατικές πρακτικές το νερό της βροχής του αστικού χώρου διοχετεύεται σε δίκτυα ομβρίων ή σε συνδυασμένα αποχετευτικά δίκτυα (όμβρια και λύματα μαζί) ή σε αστικά ρέματα. Με τη συλλογή όμως και αποθήκευση των ομβρίων σε δεξαμενές (Rainwater Harvesting) υπάρχει διαθέσιμη άλλη μια ποσότητα ύδατος που μπορεί να αξιοποιηθεί για μη πόσιμη χρήση, συνδεδεμένη με το δίκτυο παροχής μη πόσιμου νερού. Αυτό μπορεί επίσης να επιτευχθεί σε επίπεδο οικιστικής μονάδας είτε σε επίπεδο ομάδας κατοικιών. Δηλαδή, σε μια δεξαμενή μπορεί να καταλήγουν τα όμβρια ύδατα ενός νοικοκυριού, ή πολλών νοικοκυριών.

2.3.1.3 Αξιοποίηση Υπόγειων Υδροφορέων

Στο δίκτυο παροχής μη πόσιμου νερού μπορούν ενδεχομένως να συνδεθούν και τοπικοί υπόγειοι υδροφορείς. Αυτοί μπορούν να εμπλουτίζονται και με εφαρμογή κάποιων άλλων νεοεμφανιζόμενων συστημάτων, των αειφόρων συστημάτων αποχέτευσης (Sustainable Drainage Systems - SUDS), με τα οποία ταυτόχρονα εκμεταλλευόμαστε εντέχνως την περατότητα του εδάφους και αποφεύγουμε τόσο τα πλημμυρικά φαινόμενα όσο και την αναγκαιότητα κατασκευής δικτύου όμβριων υδάτων (Makropoulos and Butler, 2010).

Τα συστήματα τα οποία είναι σωστά σχεδιασμένα να επαναχρησιμοποιούν γκρι νερό είναι λιγότερο ευάλωτα σε κλιματικές διακυμάνσεις από ό,τι τα συστήματα τα οποία βασίζονται αποκλειστικά στη συλλογή και χρήση του νερού της βροχής. Αυτό συμβαίνει διότι η βροχή, ως πόρος, εξαρτάται από στοχαστικά φαινόμενα, ενώ αυτό δεν ισχύει για το γκρι νερό σε βαθμό άξιο αναφοράς. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού, σε σύγκριση με τα συστήματα συλλογής βρόχινου νερού, έχει μεγαλύτερα κόστη συντήρησης και ενέργειας, το μέγεθος των οποίων εξαρτάται και από την πρόοδο της τεχνολογίας (Rozos et al. 2010).

Γενικότερα, από τη μελέτη εναλλακτικών σεναρίων αξιοποίησης των λυμάτων ή του βρόχινου νερού, σε κεντρικό ή αποκεντρωμένο επίπεδο προκύπτει μια αλληλεπίδραση μεταξύ τριών βασικών παραμέτρων: της ζήτησης πόσιμου νερού, της ενεργειακής κατανάλωσης και της χρήσης επιφάνειας γης. Για παράδειγμα, από την εφαρμογή συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε κάθε νοικοκυριό θα απαιτηθούν πολλά επιπρόσθετα τετραγωνικά μέτρα γης για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και κυρίως για την αποθήκευση του νερού, όπως επίσης θα απαιτηθούν ως σύνολο μεγαλύτερες ενεργειακές ποσότητες για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση του νερού, όμως κατά αυτόν

τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση της ζήτησης πόσιμου νερού. Κατά όμοιο τρόπο μπορεί να διαπιστωθεί ότι η βελτίωση μίας από τις τρεις παραμέτρους επιβαρύνει τις υπόλοιπες δύο. Το μέγεθος της επιβάρυνσης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την τεχνολογική πρόοδο που έχει σημειωθεί. Η επιλογή μιας καλής λύσης εξαρτάται από την κάθε ξεχωριστή περίπτωση που μελετάται, εστιάζοντας στους περιορισμούς της. Αυτοί μπορεί να είναι η έλλειψη επαρκούς χώρου (π.χ. αστικά κέντρα), η λειψυδρία, η έλλειψη ενεργειακών αποθεμάτων και οικονομικών πόρων. Δευτερεύουσας σημασίας αλλά όχι αμελητέος παράγοντας είναι και η κοινωνική αποδοχή κάθε λύσης, η επαρκής ενημέρωση και η συνεργασία των μελών της κοινωνίας που εφαρμόζεται η κάθε λύση. Αν δεν υπάρχει κοινωνική αποδοχή και συνεργασία, ίσως θα είναι αδύνατη η εφαρμογή οποιασδήποτε λύσης, ακόμα και αν αυτή θεωρητικά φαίνεται να είναι η βέλτιστη.

2.3.2 Βιωσιμότητα

Η βιώσιμη ανάπτυξη, όπως ορίστηκε στην έκθεση της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (WCED, 1987) είναι η ανάπτυξη, που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της παρούσας γενιάς, χωρίς να υποθηκεύεται η δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Από τη σκοπιά της επαναχρησιμοποίησης του νερού στη γεωργία, η βιωσιμότητα μπορεί να περιγραφεί ως η δυνατότητα σχεδιασμού συστημάτων και διαχείρισης του νερού, με τέτοιον τρόπο ώστε η ανθρώπινη υγεία να μην τίθεται σε κίνδυνο, τα θρεπτικά συστατικά να ανακυκλώνονται για την παραγωγή τροφής και οι αρνητικές επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους και γενικότερα στο περιβάλλον να αποτρέπονται (WHO, 2006).

Η ποσοτικοποίηση και η εκτίμηση της βιωσιμότητας είναι μια πρόκληση. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα ασαφές και πολύπλοκο ζήτημα, για ένα πολυστοχικό πρόβλημα που διαφοροποιείται σε κάθε μελέτη περίπτωσης. Παράλληλα όμως γίνεται προσπάθεια ένταξης της εκτίμησης βιωσιμότητας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Makropoulos et al., 2008). Μία συνήθης πρακτική εκτίμησης της βιωσιμότητας είναι με την επιλογή κατάλληλων κριτηρίων που συνδέονται με συγκεκριμένους δείκτες (Balkema et al., 2002).

Ως κριτήριο μπορεί να οριστεί ένα χαρακτηριστικό μέγεθος, είτε ποσοτικό είτε ποιοτικό, με βάση το οποίο αξιολογείται το αποτέλεσμα μιας εφαρμογής, μαζί με το βαθμό στον οποίο επιτυγχάνονται οι στόχοι που έχουν τεθεί. Οι δείκτες αποτελούν ένα μέσο μέτρησης του βαθμού κατά τον οποίον τα κριτήρια ικανοποιούνται. Οι δείκτες αυτοί μπορεί να αντιπροσωπεύουν κάποιο ποσοτικό, είτε κάποιο ποιοτικό μέγεθος. Από τους ποιοτικούς δείκτες, κάποιοι είναι δυσκολότερο να ποσοτικοποιηθούν και άλλοι λιγότερο δύσκολο. (Makropoulos et al., 2008).

Τα κύρια ίσως κριτήρια με τα οποία μπορεί να διερευνηθεί η βιωσιμότητα είναι τα εξής: (WHO, 2006):

- Η υγεία και η υγιεινή.
- Το περιβάλλον και η χρήση των πόρων.
- Η οικονομία.
- Τα κοινωνικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά.
- Η χρήση των τεχνολογικών δυνατοτήτων.

2.3.3 Προς την Κατεύθυνση των Αποκεντρωμένων Συστημάτων Υδατικής Διαχείρισης

Γενικά, μέχρι σήμερα, υπάρχει η αντίληψη ότι τα μεγάλα συστήματα αναπτύσσουν οικονομίες κλίμακας, συχνά όμως χάνουν την δυνατότητα να παρέχουν τις απαιτούμενες υπηρεσίες και να αποδίδουν όσο ένα μικρής κλίμακας σύστημα. Αυτό οδηγεί πολλές κυβερνήσεις να αναθέτουν στον ιδιωτικό τομέα την αρμοδιότητα αυτή, κάτι το οποίο όμως συνήθως δεν συνάδει με την ολοκληρωμένη αντίληψη που μεριμνά για τα κοινωνικά οφέλη, τα περιβαλλοντικά οφέλη αλλά και τα έμμεσα συνολικά οικονομικά οφέλη (*Newman and Mouritz, 1996*). Ας κάνουμε όμως μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξης του τρόπου, με τον οποίο αντιμετωπίζεται στις πόλεις η εκμετάλλευση και η διαχείριση των υδάτων μέχρι και σήμερα.

2.3.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα παλαιότερα χρόνια, πριν το 19^ο αιώνα, όπου οι άνθρωποι μετακινούνταν με τα πόδια, η διαχείριση του νερού ήταν τοπική υπόθεση. Οι άνθρωποι σε μικρές πόλεις κατάφερναν να ικανοποιούν τις ανάγκες τους χωρίς εκτεταμένη συλλογή, επεξεργασία και ζήτηση νερού. Το 19^ο όμως αιώνα, με τη βιομηχανική επανάσταση, οι πόλεις μεγάλωναν με ραγδαίο ρυθμό, οι άνθρωποι που συγκεντρωνόταν στα αστικά κέντρα έμεναν σε γειτονιές και μετακινούνταν με τα μέσα μεταφοράς και εκτός από την αλματώδη ζήτηση νερού, αυξανόταν και τα απορριπτόμενα υγρά απόβλητα αλλά και τα όμβρια ύδατα. Τότε η λύση που δόθηκε ήταν οι μεγάλες σωλήνες και τα κεντρικά συστήματα παροχής και αποχέτευσης νερού.

Φτάνοντας στον 20^ο αιώνα (και ειδικά προς τα τέλη του για την Ελλάδα), με το αυτοκίνητο να αποτελεί πλέον το βασικότερο μέσο μεταφοράς των ανθρώπων του ανεπτυγμένου κόσμου, στις μεγαλουπόλεις συνεχίστηκε η αύξηση της κατοίκησης, αλλά αυτή τη φορά άρχισε να εξαπλώνεται σε μεγάλη επιφάνεια και με σαφώς αραιότερη δόμηση.

2.3.3.2 Προβλήματα

Με αυτήν όμως την εξέλιξη, και διατηρώντας τη λογική της κεντρικής διαχείρισης και των μεγάλων ενιαίων δικτύων, όσον αφορά τη διαχείριση των υδάτων, παρατηρούνται όλο και εντονότερα κάποια προβλήματα όπως (*Newman and Mouritz, 1996*):

- Οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις ύδρευσης αδυνατούν να εξυπηρετήσουν την αυξανόμενη ζήτηση.
- Οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αδυνατούν επεξεργαστούν τις αυξανόμενες ποσότητες λυμάτων με αποτέλεσμα ένα ποσοστό να απορρίπτεται χωρίς επεξεργασία.
- Περιορίζονται οι οικονομικές δυνατότητες λόγω των αυξανόμενων αναγκών σε υποδομές, όπως έργα συλλογής νερού, δίκτυα μεταφοράς και αποχέτευσης.
- Οι υγρότοποι όπου γίνεται η απόθεση των επεξεργασμένων - ή μη - λυμάτων δεν μπορούν να διαχύσουν και να διαλύσουν με βιώσιμο τρόπο το απορριπτόμενο οργανικό φορτίο ή άλλες ενώσεις που παραμένουν στην εκροή. Παράλληλα,

αυξάνεται η αναγνώριση της οικολογικής αξίας των φυσικών υδατικών συστημάτων, οπότε απαιτείται η ανακοπή της υδατικής αυτής ρύπανσης.

- Τα όμβρια ύδατα παράγονται σε μεγάλες ποσότητες λόγω της εκτεταμένης δόμησης και των ασφαλικών ή τοιμεντένιων επενδύσεων, με αποτέλεσμα να προκαλούνται πλημμυρικά φαινόμενα.

Έτσι, δημιουργούνται ερωτήματα, εάν η διατήρηση της λογικής των μεγάλων κεντρικών λύσεων, σε συνδυασμό με αυτού του είδους την ανάπτυξη των πόλεων, παραμένει μια οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή. Μία ελκυστική πρόταση, που συγκεντρώνει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον, αποτελούν τα τοπικά, τα αποκεντρωμένα συστήματα. Παρακάτω, παρατίθενται τρεις λόγοι που εντοπίζονται, για τους οποίους θεωρείται η υιοθέτηση αποκεντρωμένων συστημάτων ότι προσφέρει μια διέξοδο στα προαναφερθέντα προβλήματα (*Newman and Mouritz, 1996*):

1. Η εξελιγμένη τεχνολογία. Κάποια συστήματα μικρής κλίμακας, με τη βοήθεια και της σύγχρονης τεχνολογίας έχει υποστηριχθεί ότι μπορεί να λειτουργήσουν και αποδοτικότερα από τα μεγάλα κεντρικά συστήματα. Η επεξεργασία μεικτών λυμάτων, για μεμονωμένα ιδιωτικά σπιτικά δεν είναι μια οικονομική λύση, όμως υπάρχουν συστήματα για τα οποία θα άξιζε η εφαρμογή τους σε επίπεδο 50 – 500 νοικοκυριών.
2. Καλύτερη προσαρμογή στο φυσικό και αστικό περιβάλλον. Τα συστήματα μικρής κλίμακας μπορούν να σχεδιαστούν καλύτερα με γνώμονα τις τοπικές ιδιαιτερότητες. Αυτές μπορεί να είναι η φυσική γεωμορφολογία, το αστικό περιβάλλον (π.χ. ελεύθεροι χώροι, έκταση τοιμεντένιων και ασφαλικών επιφανειών, κήπων) και η ιδιαίτερη υδατική ζήτηση που μπορεί να υπάρχει για συγκεκριμένη χρήση (π.χ. μεγάλο ξενοδοχείο, πλυντήρια αυτοκινήτων, σύστημα πυρόσβεσης προστατευόμενου πάρκου). Αυτούς τους παράγοντες μπορεί να τους μελετά ξεχωριστά ένας εξουσιοδοτημένος τοπικός περιβαλλοντικός επιστήμονας ή μια ομάδα, με στόχο τη βέλτιστη διαχείριση των υδάτων της αντίστοιχης περιοχής, ως ξεχωριστής οντότητας και σε συνεργασία ενδεχομένως με τους φορείς γειτονικών ή κεντρικών συστημάτων.
3. Η φύση της ιδέας της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων. Είναι σχεδόν αδύνατη η διαχείριση ολόκληρων των συστημάτων ύδρευσης, αποχέτευσης, επεξεργασίας, ομβρίων, με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιούνται οι υδατικοί πόροι εκεί που είναι απαραίτητοι, εάν δεν διευθετούνται και αξιοποιούνται κοντά στην πηγή και στο σημείο εφαρμογής τους. Ο λόγος είναι ότι απαιτούνται πολύ μεγάλες ποσότητες να μεταφέρονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, με το σύστημα της επαναχρησιμοποίησης να προσθέτει ένα πολύ μεγάλο κόστος σε σχέση με το παραδοσιακό σύστημα που γνωρίζουμε μέχρι σήμερα.

Ωστόσο, η υιοθέτηση αποκεντρωμένων συστημάτων δεν είναι μια εύκολη υπόθεση. Οι αλλαγές στον τρόπο διαχείρισης που απαιτούνται προϋποθέτουν και αλλαγές στη διοικητική λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται επαναπροσδιορισμός των αρμοδιοτήτων διαφόρων υπηρεσιών της κεντρικής ή τοπικής αυτοδιοίκησης, όπως είναι τα τμήματα σχεδιασμού πολιτικής των υδάτων, οι εταιρίες ύδρευσης και αποχέτευσης, οι υγειονομικές υπηρεσίες, ενώ απαιτείται μεγαλύτερη εμπλοκή και των τοπικών κοινωνιών

(Newman and Mouritz, 1996). Φυσικά, δεν πρόκειται για απλές διαδικασίες. Σε γενικές γραμμές, είναι πιθανό να μειωθούν οι αρμοδιότητες των μεγάλων εταιριών του νερού – είτε ιδιωτικών είτε δημόσιων – και να αυξηθεί ο ρόλος των ιδιωτών (Ryana et al., 2009).

Προς αυτήν την κατεύθυνση, μία πρόταση θα μπορούσε να είναι η συνεργασία με τον ιδιωτικό τομέα, με την επισήμανση ότι θα περιορίζεται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας και θα λειτουργεί υπό δημόσιο έλεγχο. Αυτό είναι πολύ πιθανό να οδηγήσει στη δημιουργία πολλών μικρομεσαίων επιχειρήσεων διαχείρισης υδάτων, στην ενθάρρυνση ανάπτυξης πρωτοβουλιών, καινοτομιών, στην εφαρμογή και δοκιμή νέων τεχνολογιών. Ταυτόχρονα, με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στα μέλη κάθε τοπικής κοινότητας ή γειτονιάς, να γίνονται οι ίδιοι ιδιοκτήτες και να επιλέγουν οι ίδιοι τον τρόπο με τον οποίο θα αξιοποιούν τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους (όπως π.χ. σε μια πολυκατοικία πραγματοποιείται η διαχείριση του ανελκυστήρα και του πετρελαίου), προς την κατεύθυνση της αυτοδιαχείρισης και μιας περισσότερο δημοκρατικής κοινωνίας (Newman and Mouritz, 1996).

2.3.4 Παραδείγματα Εφαρμογών είτε Μελετών Εναλλακτικών Συστημάτων Υδατικής Διαχείρισης

Παρόλο που διάφορα συστήματα υδατικής εξοικονόμησης – κεντρικά είτε αποκεντρωμένα – εφαρμόζονται σε ολόκληρο τον κόσμο, η επιλογή του τύπου του συστήματος και της κατάλληλης τεχνολογίας εξαρτάται από τα τοπικά χαρακτηριστικά και τους λόγους που έχουν ωθήσει την αναζήτηση τέτοιων λύσεων. Στην Ευρώπη (π.χ. Γερμανία, Σουηδία, Φινλανδία) έχει σημειωθεί εκτεταμένη περιβαλλοντική ρύπανση σε λίμνες και ποτάμια, οπότε οι αρχές έχουν υιοθετήσει τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης. Στις ΗΠΑ και στη Σιγκαπούρη, κινητήρια δύναμη για την υιοθέτηση αποκεντρωμένων συστημάτων είναι η ταχύτατη αστικοποίηση και η βιομηχανική ανάπτυξη, οι οποίες έχουν αυξήσει τη ζήτηση και πραγματοποιούνται πέρα από τα όρια για τα οποία είχαν σχεδιαστεί τα κεντρικά συστήματα (ύδρευσης είτε αποχέτευσης) (Mankad and Tapsuwan, 2011).

Στη Μεγάλη Βρετανία έχουν αναφερθεί συστήματα αξιοποίησης βρόχινου νερού με βαρύτητα, χωρίς τη χρήση αντλιών. Συνήθως αυτά διαθέτουν μικρό αποθηκευτικό όγκο και το νερό χρησιμοποιείται για το καζανάκι της τουαλέτας. Είναι προφανές ότι δεν έχουν σημαντική λειτουργική ενεργειακή κατανάλωση (αφού αντί για αντλίες χρησιμοποιείται η βαρύτητα), όμως περιορίζεται και η δυνατότητα εξοικονόμησης νερού (Parkes et al., 2010).

Η Αυστραλία θεωρείται η ξηρότερη ήπειρος στον πλανήτη μας και αντιμετωπίζει έντονα προβλήματα λειψυδρίας. Επιπροσθέτως, κάποια αστικά κέντρα σημειώνουν μεγάλη πληθυσμιακή αύξηση εντείνοντας τις πιέσεις στη ζήτηση νερού. Πρόκειται για ένα κράτος που μελετά σοβαρά τα θέματα εναλλακτικής διαχείρισης του νερού, με αξιοποίηση κάθε δυνατού υδατικού πόρου. Στο Queensland της Αυστραλίας έχει τεθεί νομοθετικό πλαίσιο, σύμφωνα με το οποίο στις νέες οικίες, έπειτα από τον Ιανουάριο του 2007, απαιτείται η εγκατάσταση μιας διάταξης συλλογής και αποθήκευσης νερού, που θα επιτρέπει την αποθήκευση 70 kL (=70m³) νερού ετησίως. Το πλαίσιο αυτό συνοδεύτηκε με οικονομική πολιτική, όπου παρέχονταν κίνητρα ακόμα και για τους ιδιοκτήτες παλαιότερων οικιών, ώστε να προσαρμόσουν στην οικία συστήματα αποθήκευσης βρόχινου είτε γκρι νερού (Mankad and Tapsuwan, 2011).

Στην εργασία των *Newman and Mouritz (1996)* για το Περθ (Perth) της Αυστραλίας, μελετάται ένα υποθετικό σύστημα συλλογικό αλλά αποκεντρωμένο, μικρής κλίμακας. Σύμφωνα με ένα σενάριο, τα μεικτά λύματα θα επεξεργάζονται με αναερόβια μέθοδο (σύστημα Ecomax) και θα επαναχρησιμοποιούνται σε δημόσιους ανοιχτούς χώρους, θα αξιοποιούνται τα νερά της βροχής, θα υπάρχει διπλό δίκτυο και για εξωτερική οικιακή χρήση, θα χρησιμοποιούνται συσκευές εξοικονόμησης νερού και θα αντλείται συμπληρωματικά υπόγειο νερό σε τοπικό επίπεδο. Υπολογίζεται ότι το λειτουργικό κόστος του αποκεντρωμένου συστήματος θα είναι περίπου κατά 11% μικρότερο από το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος του κεντρικού συστήματος, ενώ το κόστος κεφαλαίου υπολογίζεται κατά 3% αυξημένο. Παράλληλα, υπολογίζεται ότι σε κάθε νοικοκυριό μετακυλιέται μία χρηματική εξοικονόμηση της τάξης του 25%. Οι εξοικονομήσεις αυτές μπορούν να επιτευχθούν σήμερα, μεταξύ άλλων, λόγω και της εξέλιξης της τεχνολογίας, που επιτρέπει σε κάποια συστήματα επεξεργασίας να λειτουργούν αποδοτικότερα σε μικρές κλίμακες (π.χ. Biocycle, Ecomax).

Τα αποκεντρωμένα συστήματα όμως σαφώς και δεν είναι πάντοτε οικονομικά αποδοτικότερα. Σε μια εργασία που είχε ανατεθεί από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων της Αυστραλίας, είχε υπολογιστεί ότι το ανηγμένο κόστος - δηλαδή το κόστος ανά χιλιόλιτρο (kL) - από τη χρήση αποκεντρωμένων δεξαμενών βρόχινου νερού, κυμαίνεται περίπου \$1,41 ÷ \$12,30 ανά 1000 λίτρα (kL) εναλλακτικά παραγόμενου νερού. Το κόστος αυτό εξαρτάται από την επιφάνεια της στέγης, από τις διαστάσεις της δεξαμενής και από το είδος της χρήσης. Το κόστος αυτό είναι μάλλον μεγαλύτερο από την τιμή με την οποία προς το παρόν πωλείται το νερό από τις εταιρίες ύδρευσης. Βέβαια, κάποιος μπορεί να κάνουν χρήση μιας τέτοιας δυνατότητας για λόγους όχι οικονομίας, αλλά για να μπορούν για παράδειγμα να έχουν νερό να ποτίσουν σε περιόδους όπου δεν μπορούν να το κάνουν από το δίκτυο (π.χ. λόγω απαγόρευσης, λόγω διακοπής υδροδότησης...) (*Mankad and Tapsuwan, 2011*).

Ένας άλλος όμως παράγοντας εξαιτίας του οποίου η εφαρμογή συστημάτων εξοικονόμησης νερού μπορεί να μην οδηγήσει σε αποδοτικά αποτελέσματα είναι ο εξής: Έχει παρατηρηθεί ότι η υιοθέτηση συστημάτων επαναχρησιμοποίησης, μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη κατανάλωση νερού. Το Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών της Αυστραλίας είχε εκτιμήσει ότι τα νοικοκυριά με συστήματα γκρι νερού καταναλώνουν κατά μέσο όρο 62kL περισσότερο νερό ετησίως από εκείνα χωρίς σχετικό σύστημα. Αυτό αποδίδεται είτε στη χαλάρωση που προσδίδει η αίσθηση ότι υπάρχει αξιοποιήσιμο πρόσθετο νερό, είτε σε μεγαλύτερες εγγενείς ανάγκες σε νερό (*Mankad and Tapsuwan, 2011*).

2.4 Συστήματα Αξιοποίησης Βρόχινου Νερού

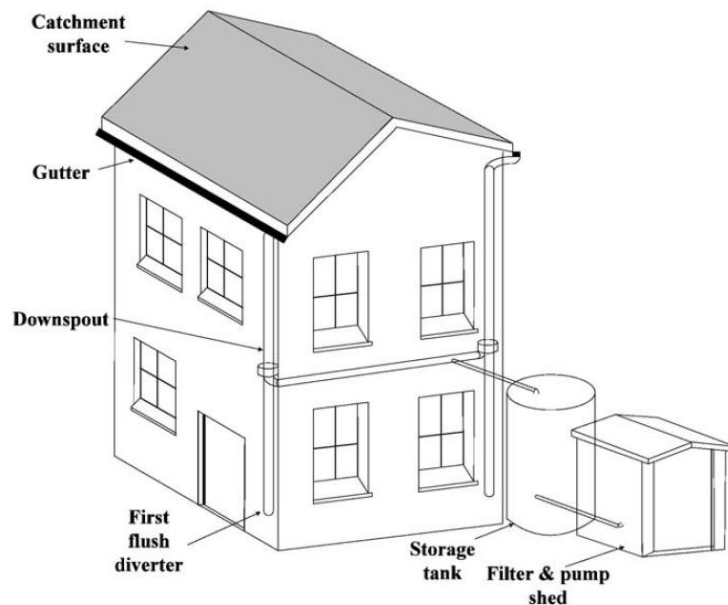
2.4.1 Γνωριμία με τα Συστήματα Βρόχινου Νερού

Το βρόχινο νερό αποτελεί έναν ανανεώσιμο και σχετικά καθαρό υδατικό πόρο, ο οποίος ενδείκνυται για την κάλυψη μέρους της υδατικής ζήτησης ενός νοικοκυριού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για μη πόσιμη κατανάλωση, όπως για τον καθαρισμό της λεκάνης της τουαλέτας, για το πλύσιμο των ρούχων και για εξωτερικές χρήσεις όπως το πλύσιμο του αυτοκινήτου και το πότισμα του κήπου. Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα ακόμη και πόσιμης κατανάλωσης, εάν υποστεί πρωτίστως κατάλληλη επεξεργασία (*Li et al., 2010*).

Η χρήση στεγών για τη συλλογή βρόχινου νερού παράγει νερό καλύτερης ποιότητας σε σύγκριση με τη χρήση άλλων αδιαπέρατων επιφανειών (π.χ. οδούς,). Η εφαρμογή των συστημάτων μπορεί να γίνει είτε σε κεντρικό είτε σε αποκεντρωμένο επίπεδο, συνήθως όμως υιοθετούνται οι τοπικές λύσεις, σε επίπεδο οικιστικής μονάδας. Τα συστήματα οικιακής συλλογής βρόχινου νερού (DRWH, Domestic RoofWater Harvesting) αποτελούν μία πρακτική, που μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλες ποσότητες νερού σε πολλά μέρη του κόσμου, αλλά ιδιαίτερα σε βόρειες χώρες με πολλές βροχοπτώσεις όλο το χρόνο. Στην Ιρλανδία οι μέσες βροχοπτώσεις κυμαίνονται μεταξύ 750-1250 mm ανά έτος (έχουν αναφερθεί και τιμές 2000 mm σε ορεινές περιοχές) (Li *et al.*, 2010).

2.4.2 Συστατικά Μέρη του Συστήματος Οικιακής Συλλογής Βρόχινου Νερού (DRWH)

Τρία είναι τα βασικά συστατικά μέρη ενός οικιακού συστήματος συλλογής βρόχινου νερού (DRWH) (Σχήμα 2-1). Αυτά είναι η επιφάνεια συλλογής (catchment), το σύστημα μεταφοράς της απορροής (runoff delivery system) και η δεξαμενή αποθήκευσης του βρόχινου νερού (Li *et al.*, 2010).



Σχήμα 2-1 Ένα οικιακό σύστημα συλλογής βρόχινου νερού (DRWH) (Πηγή: Li *et al.*, 2010)

2.4.2.1 Η Επιφάνεια Συλλογής (catchment)

Η επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού, συνήθως δηλαδή η επιφάνεια της στέγης, θα πρέπει προφανώς να είναι αδιαπέρατη και να μην ρυπαίνει το νερό. Το υλικό κατασκευής της επιφάνειας και το ποσοστό της αξιοποιήσιμης επιφάνειας (roof effective area) παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα της συλλογής και στην ποιότητα του νερού. Επιθυμητές είναι λείες και καθαρές επιφάνειες. Έτσι το υλικό μπορεί να είναι γαλβανισμένα αυλακωτά φύλλα χάλυβα ή πλαστικού, όπως και πλακάκια. Μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί επίπεδο τσιμέντο, είτε στέγη με επικάλυψη από πύλημα (τσόχα) εφόσον είναι καθαρό το υλικό.

Η στέγη δεν θα πρέπει να είναι βαμμένη με τοξικές βαφές, διότι υπάρχει ο κίνδυνος μέρος του τοξικού χρώματος να διαλύεται και να ρυπαίνει το νερό. Το μέγεθος της κλίσης της

στέγης παίζει επίσης ένα ρόλο. Ζητούμενο είναι η επίτευξη ενός μεγάλου συντελεστή απορροής (για παράδειγμα $0,7 \div 0,9$). Οι απώλειες του νερού οφείλονται συνήθως στο διασκορπισμό έπειτα από την πρόσπτωση (spillage), στις διαρροές, στην απορρόφηση νερού από τη στέγη και στην εξάτμιση. Μία καλή επιφάνεια συλλογής προσφέρει καλή ποιότητα και μεγάλη ποσότητα νερού (Li et al., 2010).

2.4.2.2 Σύστημα Μεταφοράς της Απορροής

Το σύστημα μεταφοράς της απορροής αποτελείται από τα ρείθρα και τις υδρορροές. Συνήθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο γαλβανισμένος χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο υαλοβάμβακας (fibreglass) και το πλαστικό.

Τα ρείθρα (gutters), συνήθως, είναι αναρτημένα στο γείσο κι έχουν ημικυκλικό σχήμα, το οποίο είναι αναγνωρισμένο για την αποτελεσματική μεταφορά του νερού. Ένα τυπικό εμβαδόν διατομής για το σχεδιασμό τους είναι 1 cm^2 , για κάθε 1 m^2 επιφάνειας στέγης. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να αποφεύγονται η πλημμύρα και διαρροές από τα ρείθρα. Επίσης, χρησιμοποιούνται πολλές φορές κάποια φίλτρα ώστε να εμποδίζουν την είσοδο στο σύστημα διαφόρων φύλλων, εντόμων και άλλων στερεών.

Η διατομή των υδρορροών (downpipes) είναι μερικές φορές μικρότερη, εξαιτίας της κάθετης τοποθέτησής τους, που επιτρέπει την ταχύτερη κίνηση του νερού. Είναι σημαντική η συντήρηση και ο καθαρισμός του συστήματος μεταφοράς, ώστε να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του. Ένα συμβατικό (μεταλλικό ή πλαστικό) σύστημα μεταφοράς υπολογίζεται ότι αποτελεί το 5% με 15% του συνολικού κόστους του συστήματος DRWH. Μία ρεαλιστική τιμή του ποσοστού συλλογής του βρόχινου νερού είναι $80\% \div 90\%$ (Li et al., 2010).

2.4.2.3 Δεξαμενή Αποθήκευσης

Η δεξαμενή αποθήκευσης είναι σε γενικές γραμμές το πιο ακριβό μέρος του συστήματος DRWH, αποτελώντας το 50% \div 70% του συνολικού κόστους (Li et al., 2010). Μερικά υλικά με τα οποία οι δεξαμενές αυτές μπορούν να κατασκευαστούν, είναι τα τούβλα τσιμέντου, το απλό σκυρόδεμα, το ωπλισμένο σκυρόδεμα ή μπορεί να έχουμε μεταλλικές δεξαμενές. Τα υλικά αυτά είναι υδατοστεγή, ανθεκτικά, και το αποθηκευμένο νερό ελάχιστα ρυπαίνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι συνήθεις όγκοι αποθήκευσης κυμαίνονται μεταξύ $4 \div 16 \text{ m}^3$. Ο απαιτούμενος αυτός όγκος προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψιν την αξιοποιήσιμη επιφάνεια της στέγης (roof area available), το μέγεθος της βροχόπτωσης και τον αριθμό των ενοίκων της οικίας, με τον οποίο γίνεται η εκτίμηση της ζήτησης.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης βρόχινου νερού μπορούν να τοποθετηθούν είτε εντός είτε εκτός μίας οικίας, υπόγεια είτε στην επιφάνεια του εδάφους και να είναι ορθογωνικές είτε κυκλικές (Li et al., 2010).

- Στην επιφάνεια του εδάφους μία δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να κατασκευαστεί ορθογωνική αφού είναι ευκολότερη η κατασκευή. Στην επιφανειακή δεξαμενή καθίσταται ευκολότερος ο έλεγχος ύπαρξης ρωγμών και διαρροών και το νερό μπορεί να εξαχθεί ευκολότερα, ακόμα και αποκλειστικά μέσω της βαρύτητας, ιδιαίτερα εάν η δεξαμενή είναι υπερυψωμένη σε σχέση με την επιφάνεια του

εδάφους. Επίσης το κόστος της επιφανειακής είναι μικρότερο από ό,τι της υπόγειας δεξαμενής. Όμως, η επιφανειακή δεξαμενή καταλαμβάνει χώρο και απαιτείται η αγκύρωση στο έδαφος.

- Η υπόγεια δεξαμενή πρέπει να κατασκευαστεί κυκλική, διότι το σχήμα αυτό προσφέρει μεγαλύτερη αντοχή στις πιέσεις που δέχονται τα τοιχώματά της από το έδαφος. Με την υπόγεια δεξαμενή αποτρέπεται η διείσδυση του φωτός, το νερό μπορεί να διατηρηθεί κρύο και εξοικονομείται χώρος. Όμως απαιτείται αντλητικός μηχανισμός για την αξιοποίηση του νερού, ενώ καθίσταται και δύσκολη η ανίχνευση προβλημάτων. Επιπροσθέτως υπάρχει και ο φόβος της ρύπανσης από υπόγεια και νερά πλημμυρών. Τέλος, το κόστος των εκσκαφών κρίνεται ότι είναι σχετικά υψηλό.

2.4.3 Ποιότητα Συλλεγόμενου Βρόχινου Νερού

Η ποιότητα του συλλεγόμενου βρόχινου νερού εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ποιότητα του τοπικού αέρα της ατμόσφαιρας και από την καθαριότητα της στέγης (*Li et al., 2010*). Τα καύσιμα που εκλύονται από τον τομέα των μεταφορών είναι στις μεγάλες πόλεις ο βασικός κίνδυνος ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ωστόσο, είναι πολύ χρήσιμος ο τακτικός καθαρισμός της στέγης, ώστε να απομακρύνονται σκόνες και στερεά υλικά. Μάλιστα, οι πρώτες ποσότητες της απορροής καλό είναι να απομακρύνονται μακριά από τη δεξαμενή, όταν υπάρχει βρωμιά στη στέγη για να αποφευχθεί η ρύπανση. Επιπροσθέτως και η δεξαμενή αποθήκευσης πρέπει να καθαρίζεται περιοδικά, ώστε να απομακρύνεται υλικό που έχει καθιζάνει.

Οι δεξαμενές πρέπει να είναι κλειστές, ώστε να μην αποτελεί έναν τόπο αναπαραγωγής εντόμων. Ακόμα, υπάρχει ο κίνδυνος μόλυνσης με βακτήρια, ιούς και πρωτόζωα, προερχόμενα από κοπρανικές απεκκρίσεις ζώων, για παράδειγμα πουλιών, είτε στη στέγη είτε στη δεξαμενή αποθήκευσης. Η παρουσία παθογόνων είναι ένας βασικός παράγοντας που καθιστά το νερό ακατάλληλο για πόση χωρίς επεξεργασία. Βέβαια, είναι πιθανό τα περισσότερα από αυτά να απονεκρωθούν εντός ολίγων ημερών, εφόσον αποφευχθεί η επαφή τους με φως και με οργανικό υλικό.

2.4.4 Επεξεργασία Οικιακού Βρόχινου Νερού

Απλά συστήματα επεξεργασίας μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα του αποθηκευμένου βρόχινου νερού (*Li et al., 2010*) και να το καταστήσουν κατάλληλο για πολλών ειδών χρήσεις, εκτός της πόσης. Για να καταστεί πόσιμο το νερό απαιτούνται περισσότερο σύνθετα και δαπανηρά συστήματα επεξεργασίας. Μερικές οικονομικές και παράλληλα επαρκείς μέθοδοι επεξεργασίας είναι οι παρακάτω:

- Απολύμανση. Η απολύμανση χρησιμοποιείται για τη μικροβιολογική απομάκρυνση. Η χλωρίωση είναι μία συνήθης πρακτική, σχετικά οικονομική. Πραγματοποιείται μετά το στάδιο της αποθήκευσης του νερού, ώστε να αποφευχθεί η αντίδραση με οργανικό που μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία παραπροϊόντων. Μία επαρκής δόση είναι $0,4 \div 0,5$ mg/L ελεύθερου χλωρίου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ταμπλέτες, είτε διάλυμα χλωρίου.
- Αργή διήθηση σε άμμο (Slow sand filtration). Με τη μέθοδο αυτή το νερό διηθείται μέσα από βαθμιδωτά στρώματα άμμου, εκ των οποίων τα πρώτα στρώματα είναι

από χονδρότερο υλικό και τα κατώτερα στρώματα από λεπτότερο υλικό. Πρόκειται περισσότερο για μία βιολογική παρά για μία φυσική μέθοδο φίλτρου, η οποία επίσης θεωρείται οικονομική. Ένα μειονέκτημά της είναι ότι αδυνατεί να εξουδετερώσει τους μικροοργανισμούς στο βαθμό που αυτό επιτυγχάνεται με την απολύμανση. Ακόμη, απαιτεί μία σταθερή παροχή για να λειτουργήσει σωστά.

- Παστερίωση (Pasteurisation). Η μέθοδος αυτή συνδυάζει την υπεριώδη ακτινοβολία με τη θερμότητα από την ηλιακή ενέργεια. Το νερό τοποθετείται σε πλαστικό χώρο όπως μπουκάλες και δρα αποτελεσματικά εναντίον των *E.coli* και άλλων παθογόνων. Απαιτείται θερμοκρασία τουλάχιστον 50°C και πλήρη παροχή οξυγόνου, ενώ η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών είναι επιθυμητό να είναι μικρότερη από 10 mg/L.

Ένας συνδυασμός των παραπάνω ίσως είναι επιθυμητός, εάν η απαιτούμενη ποιότητα είναι μεγαλύτερη, για παράδειγμα για τη χρήση του νερού και στο μπάνιο, γενικώς όμως για χρήσεις όπως η έκπλυση της λεκάνης της τουαλέτας και το πότισμα του κήπου, καλό είναι να προτιμώνται οι απλούστερες μέθοδοι. Για πόσιμη χρήση, ένας ενδεχόμενος συνδυασμός είναι η φίλτρανση με μεμβράνες, η απολύμανση και ενδεχομένως και ο βρασμός του νερού, όμως ο συνδυασμός αυτός είναι αρκετά δαπανηρός.

2.4.5 Οφέλη Συστημάτων DRWH

Τα κύρια οφέλη από την εφαρμογή συστημάτων DRWH είναι τα εξής (*Li et al., 2010*):

- Διαθέτουν τα οφέλη των αποκεντρωμένων συστημάτων, αποφεύγοντας την περαιτέρω ρύπανση, μειώνοντας τις απώλειες κατά τη μεταφορά, αλλά μειώνοντας και τα δημόσια κόστη της διαχείρισης των κεντρικών συστημάτων ύδρευσης.
- Μπορούν να εξοικονομηθούν σημαντικές ποσότητες νερού, σε βαθμό όπου μία οικία να καταστεί σχεδόν αυτόνομη από άποψη υδατικής ζήτησης, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι αναμένονται μεγάλα και επαρκή μεγέθη βροχοπτώσεων.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μικρό, αρκεί να υιοθετούνται απλές λύσεις επεξεργασίας, για μη πόσιμη χρήση.
- Συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου πλημμύρας.

2.4.6 Κόστος - Απόσβεση

Το κόστος των συστημάτων DRWH εξαρτάται κυρίως από τον απαιτούμενο όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης (*Li et al., 2010*). Ο καθορισμός του όγκου αυτού εξαρτάται από το μέγεθος του εμβαδού της στέγης, από το μέγεθος των βροχοπτώσεων που αναμένονται και από την κατοίκηση της οικιστικής μονάδας. Το 2009, ένα εύρος του κόστους που αναφέρεται για τα συστήματα αυτά στην Ιρλανδία είναι μεταξύ 1500€ και 4000€, για δεξαμενές μεταξύ 1,5 m³ και 10 m³.

Το λειτουργικό κόστος συνήθως είναι μικρό (λιγότερο από 1kWh ανά ημέρα). Η περίοδος απόσβεσης αναφέρεται ότι κυμαίνεται στα 7 με 20 έτη στην Ιρλανδία.

2.5 Επαναχρησιμοποίηση Γκρι Νερού

2.5.1 Γνωριμία με το «Γκρι Νερό»

Με τον χαρακτηρισμό «γκρι» (είτε «ημιακάθαρτο») ονομάζουμε το νερό (greywater) που είναι αρκετά πιο αραιό εν συγκρίσει με το σύνολο των λυμάτων μιας κατοικίας. Το νερό αυτό προέρχεται από οικιακές δραστηριότητες και σημεία υδατικής χρήσης, όπως από το μπάνιο (νιπτήρας, μπανιέρα), το πλύσιμο των πιάτων και γενικότερα το νερό της κουζίνας, το πλύσιμο των ρούχων, δεν περιλαμβάνει όμως τα λύματα που προκύπτουν από τον καθαρισμό της τουαλέτας, τα οποία ονομάζουμε και «μαύρο νερό» (blackwater) (είτε «ακάθαρτο»). Κάποιοι ερευνητές ξεχωρίζουν τα απόβλητα της κουζίνας από τις υπόλοιπες πηγές γκρι νερού (*Li et al., 2009 : Christova-Boal et al., 1996*).

Το νερό αυτό περιέχει χύμα, άλατα, οργανικό υλικό, για παράδειγμα υπολείμματα τροφών που περιέχουν και παθογόνα, αλλά και ανόργανο υλικό, όπως απορρυπαντικά. Είναι πολύ πιθανό να περιέχει επίσης περιττωματικό φορτίο, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό σε σχέση με αυτό των μεικτών λυμάτων (μαύρου νερού). Οι ελάχιστες αυτές συγκεντρώσεις περιττωμάτων βρίσκονται στο γκρι νερό για λόγους όπως είναι η φροντίδα των βρεφών, είτε η προσωπική υγιεινή, όπου μικρές ποσότητες περιττωμάτων αποχετεύονται με το γκρι νερό.

Το «γκρι» νερό είναι δυνατόν υπό προϋποθέσεις να αντικαταστήσει κάποιες ποσότητες πόσιμου νερού για άλλες χρήσεις εκτός της πόσης, με σκοπό να μετριαστεί η πίεση που ασκείται λόγω της αυξημένης ζήτησης σε πόσιμο νερό και να συμβάλλει κατ' αυτόν τον τρόπο στη διατήρηση πολύτιμων υδατικών πόρων. Έχουμε έτσι την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού. Πριν από την επαναχρησιμοποίηση μπορεί να προηγηθεί επεξεργασία του γκρι νερού, μπορεί και όχι, αναλόγως τη χρήση για την οποία προορίζεται. Η επεξεργασμένη ροή μπορεί να συναντηθεί και με τον όρο «Πράσινο Νερό»¹. Δύναται λοιπόν το γκρι νερό να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση, αλλά και για άλλες χρήσεις, όπως ο καθαρισμός της τουαλέτας με το καζανάκι, για διάφορες εργασίες του νοικοκυριού (για εξωτερικές συνθηέστερα αλλά και για εσωτερικές), είτε να εναποτίθεται στο περιβάλλον με σκοπό τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων (*WHO, 2006*).

2.5.2 Οφέλη

Τα ευρύτερα οφέλη, πέραν της εξοικονόμησης νερού, είναι όμοια με εκείνα που προκύπτουν από την επαναχρησιμοποίηση νερού γενικότερα και από την εφαρμογή αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης υδατικών πόρων, εφόσον βέβαια η επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού εφαρμοστεί με αποκεντρωμένη διάταξη. Ως βασικά οφέλη της επαναχρησιμοποίησης του γκρι νερού αναφέρουμε τα εξής (*Newman and Mouritz, 1996*):

- Το νερό είναι πολύτιμο αγαθό για κάθε τόπο για κάθε κοινωνία, αλλά δεν υπάρχει στις ποσότητες, στη μορφή και στο χρονικό σημείο που το θέλουμε. Η εξοικονόμησή του με την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού μας δίνει τη δυνατότητα για την περαιτέρω αξιοποίησή του και την αύξηση των δραστηριοτήτων που εξαρτώνται από την ύπαρξή του.

¹ Προφανώς, οι χρωματικοί χαρακτηρισμοί «Γκρι» και «Πράσινο» είναι συμβολικοί.

- Αποφορτίζεται η πίεση που προέρχεται από την αυξανόμενη ζήτηση νερού σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας.
- Αποφορτίζονται τα κεντρικά συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης. Έτσι, εξοικονομείται το κόστος για την κατασκευή (νέων) μεγάλων κεντρικών υποδομών, είτε ύδρευσης (π.χ. φραγμάτων), είτε για την ομαλή αποχέτευση και την επεξεργασία των λυμάτων στο επιθυμητό επίπεδο. Παράλληλα, για τις φτωχότερες περιοχές ενθαρρύνεται η κατασκευή μικρότερων απαιτήσεων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.
- Σε περίπτωση που πραγματοποιείται άντληση υπόγειων υδάτων, εξοικονομείται και κάποιο κόστος άντλησης. Το κόστος αυτό αυξάνει συνεχώς, όσο αυξάνει το βάθος της άντλησης. Το βάθος όμως άντλησης αυξάνει λόγω του μεγαλύτερου ρυθμού άντλησης συγκριτικά με το ρυθμό αναπλήρωσης.
- Παρέχεται η δυνατότητα λειτουργίας αποκεντρωμένου συστήματος, παράλληλα με το κεντρικό σύστημα (ύδρευσης και αποχέτευσης). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται κάποιο κόστος από τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων νερού/λυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις.
- Προστατεύονται από περαιτέρω ρύπανση τα υδατικά οικοσυστήματα (θάλασσες, ποτάμια, λίμνες...) όπου απορρίπτονται ή καταλήγουν τα λύματα της αποχέτευσης, ακόμα και αν αυτά υπόκεινται σε κάποιου είδους επεξεργασία. Στην Ελλάδα για παράδειγμα, όπου σε πολλές περιπτώσεις τα λύματα απορρίπτονται άμεσα στη θάλασσα, η αποτροπή της θαλάσσιας ρύπανσης και η ανακοπή της υποβάθμισης των παράκτιων περιοχών, πέρα από τα καθαρά περιβαλλοντικά-οικολογικά οφέλη, μπορεί να αποκομίσει και πιο άμεσα οφέλη, όπως η αύξηση των ιχθυοαποθεμάτων και η αναβάθμιση του τουριστικού προϊόντος.

Όσον αφορά την επέκταση των δραστηριοτήτων εξαιτίας του επιπλέον διαθέσιμου νερού, η δυνατότητα άρδευσης των γεωργικών εδαφών των νοικοκυριών είναι σημαντική, ιδιαίτερα για τους φτωχούς πληθυσμούς, γιατί αυξάνει και τη δυνατότητα καλλιέργειας βρώσιμων προϊόντων. Επιπροσθέτως, το γκρι νερό περιέχει και μερικά θρεπτικά συστατικά, όπως φώσφορο. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού και την παραγωγή τροφής σε μικρή απόσταση από το χώρο κατοικίας μειώνει τα κόστη παραγωγής, δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης παραγωγής είτε για οικογενειακή κατανάλωση ή ακόμα και για πώληση προϊόντων και γενικώς αυξάνει τη βιοποριστική ικανότητα και την ποιότητα ζωής των φτωχών πληθυσμών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν σκεφτεί κανείς το μεγάλο ποσοστό εισοδήματος που δαπανάται από φτωχούς πληθυσμούς του πλανήτη (50-80% επί του συνολικού εισοδήματος) μόνο για νερό και τροφή, είτε αν σκεφτούμε ότι πολλοί άνθρωποι στερούνται τροφής και νερού και υποσιτίζονται, εξαιτίας της έλλειψης ακόμα και αυτού του πόρου.

Υπάρχουν έρευνες (Nolde, 1999), που δείχνουν ότι, υπό συνθήκες, μπορεί να αποτελέσει μια οικονομικά αποδοτική επιλογή και με κατάλληλη εφαρμογή ουσιαστικά δεν εμπεριέχει κίνδυνο για την υγεία, ούτε απώλεια της άνεσης και εξυπηρέτησης των καταναλωτών.

Ένα πλεονέκτημα στην επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού είναι ότι η παραγωγή-παροχή γκρι νερού είναι σχετικά συνεχής, ομαλή και δεν εξαρτάται από εξωτερικά φαινόμενα, όπως

είναι η βροχή. Ως εκ τούτου ο απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερος από αυτόν που θα απαιτούνταν για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού. Έπειτα, αναλόγως και του μεγέθους της δεξαμενής αποθήκευσης, οι εξοικονομούμενες ποσότητες γκρι νερού εξαρτώνται και από τη δυναμική της χρήσης των υδάτων σε μια οικιστική μονάδα για μικρές χρονικές περιόδους, για παράδειγμα μίας ημέρας. Έτσι λοιπόν, η εξυπηρέτηση της ζήτησης εξαρτάται και από τη χρονική και ποσοτική διακύμανση της συλλογής γκρι νερού (συνήθως από τη μπανιέρα και το νιπτήρα), από τη χρονική και ποσοτική διακύμανση της ζήτησης, καθώς επίσης και από το βαθμό επεξεργασίας του νερού (Parkes et al., 2010).

2.5.3 Προβλήματα, Κίνδυνοι και Επεξεργασία

Κάποια βασικά ζητήματα που σχετίζονται με την εφαρμοσιμότητα των συστημάτων γκρι νερού, είναι η καταλληλότητα της ποιότητας του νερού, η κοινωνική αποδοχή, η οικονομική αποδοτικότητα και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η ενδεχόμενη ελλιπής υπευθυνότητα διαχείρισης, που είναι ακόμα πιθανότερη για τους φτωχότερους πληθυσμούς, ενέχει κινδύνους. Η μη τήρηση των κανόνων λειτουργίας του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικές για τη δημόσια υγεία συνέπειες. Οι αρνητικές συνέπειες για την υγεία σχετίζονται κυρίως με τη μετάδοση μολυσματικών νόσων, εξαιτίας ακατάλληλης διαχείρισης του γκρι νερού και σε λιγότερο βαθμό σχετίζονται με την ύπαρξη χημικών ουσιών στο γκρι νερό. Ο μικροβιακός κίνδυνος από την έκθεση στο γκρι νερό σχετίζεται με το περιττωματικό φορτίο που εμπεριέχει το γκρι νερό και σαφώς είναι πολύ μικρότερο από το νερό των λυμάτων της τουαλέτας (WHO, 2006).

Συνήθως το γκρι νερό που μόλις έχει παραχθεί δεν εκλύει ιδιαίτερα δυσάρεστες οσμές. Απαιτείται όμως άμεση επεξεργασία έπειτα από τη συλλογή του. Εάν αποθηκεύεται ανεπεξέργαστο για μακρές περιόδους, τότε αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες (oxygen deficient conditions) κι έτσι είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν ακαθαρσίες που θα επιπλέουν, είτε θα είναι βυθισμένες στη δεξαμενή συλλογής. Επιπλέον, ο πληθυσμός βακτηρίων αυξάνεται όσο αυξάνεται η διάρκεια αποθήκευσης. Γενικώς, η επεξεργασία του γκρι νερού πριν την επαναχρησιμοποίηση είναι περισσότερο κοινωνικά αποδεκτή και το καθιστά κατάλληλο για περισσότερες χρήσεις. Υπάρχει όμως το ζήτημα του ορισμού κανονισμών που θα οριοθετεί τα όρια καταλληλότητας για κάθε χρήση (Makropoulos et al., 2008).

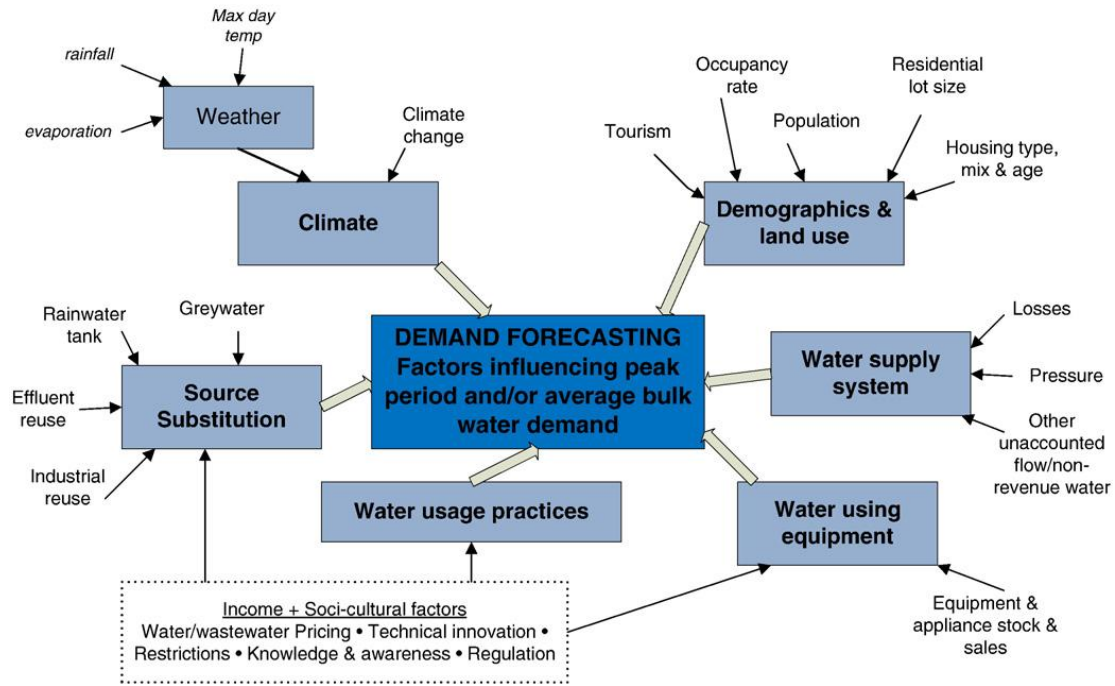
Το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας του γκρι νερού εξαρτάται από το μέγεθος της κλίμακας εφαρμογής (τοπική, κεντρική) και από την προοριζόμενη χρήση. Σε μικρή κλίμακα είναι μάλλον επαρκής μια επεξεργασία δύο σταδίων, αποτελούμενη από διήθηση (filtration) χονδρών ρυπαντικών στοιχείων (όπως τρίχες, αιωρούμενα στερεά) και ακολούθως απολύμανση με χλωρίνη, βρώμιο είτε υπεριώδη ακτινοβολία UV. Η ανακύκλωση γκρι νερού σε μεσαία και μεγάλη κλίμακα ίσως να είναι περισσότερο βιώσιμη και απαιτεί περισσότερο σύνθετη επεξεργασία. Μερικές διαθέσιμες επιλογές περιλαμβάνουν βιολογικά φίλτρα αέρα (biological aerated filters), μεμβράνες, επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία UV, βιολογικοί αντιδραστήρες μεμβρανών (membrane aeration bioreactors) και πήξη/κροκίδωση με αλουμίτη είτε σίδηρο (coagulation/flocculation with alum or ferric).

2.5.4 Όγκος Παραγόμενου Γκρι Νερού

Οι κύριες πηγές του γκρι νερού είναι η κουζίνα, το μπάνιο και τα σημεία καθαρισμού ρούχων. Ο όγκος και η σύσταση του παραγόμενου γκρι νερού ποικίλει. Ο όγκος της ζήτησης νερού γενικότερα εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος της κατοίκησης, η ηλικία των ενοίκων του νοικοκυριού, ο τύπος οικίας (π.χ. μονοκατοικία, πολυκατοικία), η οικονομική, κοινωνική και πολιτισμική κατάσταση, όπως επίσης το είδος των συσκευών κατανάλωσης που χρησιμοποιούνται. Η παρουσία εξωτερικών χρήσεων νερού (π.χ. κήπος, αγρόκτημα, πισίνα), το είδος των φυτών που είναι φυτεμένα, οι μέθοδοι ποτίσματος και οι συνήθειες των χρηστών αποτελούν μερικούς ακόμα κρίσιμους παράγοντες της υδατικής ζήτησης. Επίσης εμφανίζεται και εποχιακή διακύμανση στην κατανάλωση του νερού (*Memon and Butler, 2006 ; Domene and Saury, 2006*)).

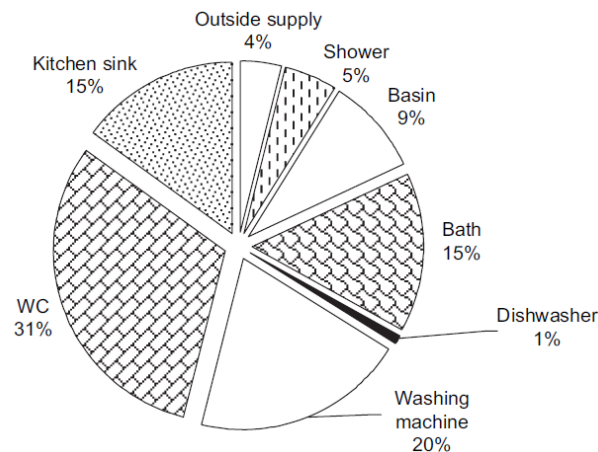
Οι *Friedler and Hadari (2006)* αναφέρουν ότι η ζήτηση νερού για τις υδατικές ανάγκες μόνο στο εσωτερικό ενός νοικοκυριού (δηλαδή χωρίς το πότισμα του κήπου, τις ανάγκες μιας πισίνας, το πλύσιμο αυτοκινήτου κ.τ.λ.) κυμαίνονται μεταξύ 100 L/d/κατ. και 180 L/d/κατ. (λίτρα ανά ημέρα ανά κάτοικο), ή αλλιώς $36\text{m}^3 \div 66\text{m}^3$ ανά έτος ανά κάτοικο. Σχεδόν ολόκληρη η ποσότητα αυτή μετατρέπεται σε λύματα, τα «μεικτά λύματα» όπως τα αποκαλούμε σε αυτήν την εργασία, ώστε να τα ξεχωρίζουμε από τα λύματα γκρι νερού και τα υπολειπόμενα λύματα της τουαλέτας. Από αυτήν την ποσότητα εκτιμάται ότι το 60% ÷ 70% αποτελεί το γκρι νερό, ενώ το νερό της τουαλέτας αποτελεί το 30% ÷ 40%. Σε άλλες δημοσιεύσεις αναφέρονται και διαφορετικές ποσοότητες υδατικής ζήτησης και ως ποσοστά επί της συνολικής κατανάλωσης. Οι *Al-Hamaiedeh and Bino (2010)* διευρύνουν το ποσοστό του γκρι νερού σε 50–80% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Αυτό είναι φυσικό, καθώς η ζήτηση του νερού καθορίζεται από ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων, που διαφέρουν από τόπο σε τόπο. Τέτοιοι παράγοντες είναι κλιματικοί, σχετιζόμενοι με το περιβάλλον και τους διαθέσιμους πόρους, κοινωνιολογικοί, παράγοντες τεχνικής φύσεως, και με παράγοντες που σχετίζονται με το είδος και τον τρόπο άσκησης της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στο Σχήμα 2-2 παρουσιάζονται οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση.

Κεφάλαιο 2: Η Ανάπτυξη της Ιδέας των Εναλλακτικών Αστικών
Υδατικών Συστημάτων



Σχήμα 2-2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση (Πηγή: Willis et al., 2011).

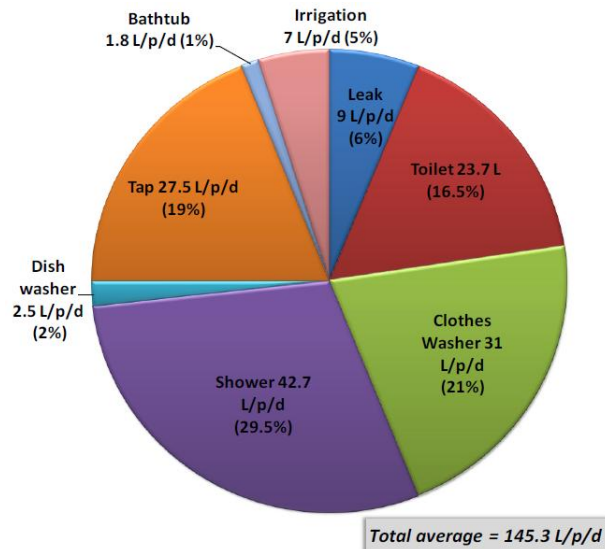
Στο Σχήμα 2-3 παρουσιάζεται μία ενδεικτική κατανομή της κατανάλωσης ενός νοικοκυριού στις επιμέρους χρήσεις, από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο. Σύμφωνα με αυτήν, στο καζανάκι της τουαλέτας καταναλώνεται το μεγαλύτερο – συγκρινόμενο με τα άλλα - μέρος της υδατικής κατανάλωσης (31%) και ακολουθούν η μπανιέρα, η ντουζιέρα και οι νιπτήρες (αθροιστικά 29%), το πλυντήριο ρούχων (20%), ο νεροχύτης της κουζίνας (15%) και η εξωτερική κατανάλωση (4%).



Σχήμα 2-3 Ενδεικτική κατανομή κατανάλωσης νερού στις επιμέρους εξόδους του συστήματος ενός νοικοκυριού στο Ηνωμένο Βασίλειο (Πηγή: Memon and Butler, 2006)

Ο Πιν Α-1 Επιμέρους καταναλώσεις νερού, σε διάφορα ευρωπαϊκά κράτη (Πηγή: Memon and Butler, 2006)(του Παραρτήματος) είναι ενδεικτικός – περισσότερο στην κατηγορία της προσωπικής υγιεινής (μπάνιο, ντους) - των διαφορών στις συνήθειες επιμέρους κατανάλωσης νερού σε διάφορα ευρωπαϊκά κράτη.

Από μια λεπτομερή έρευνα, που διεξήχθη στην Αυστραλία (South East Queensland) περίοδο χειμώνα και συμπεριελάμβανε και τις υδατικές απώλειες ως ξεχωριστή κατηγορία, προκύπτει η μέση κατανομή του σχήματος 2-4. Η μέση ολική ημερήσια ατομική κατανάλωση υπολογίζεται 145,3 L/p/d. Η μεγαλύτερη κατανάλωση παρατηρείται στη χρήση της ντουζιέρας και μπανιέρας (30,5%) και ακολουθούν το πλυντήριο ρούχων (21%), η κατανάλωση από τη βρύση (19%), το νερό για το καζανάκι της τουαλέτας (16,5%), ακολουθεί ένα σημαντικό ποσοστό διαρροών (6%), το νερό για αρδευτικές ανάγκες (5%) και το πλυντήριο των πιάτων (2%).



Σχήμα 2-4 Μέση κατανομή ημερήσιας ατομικής υδατικής κατανάλωσης στο νοικοκυριό, Αυστραλία (South East Queensland) (Πηγή: *Beal et al., 2010*)

Ο Πιν Α-2 (του Παραρτήματος) παρέχει επίσης συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα από διάφορες έρευνες για την κατανομή της κατανάλωσης στην Αυστραλία. Η πληροφορία που παρουσιάζεται είναι η ημερήσια ατομική κατανάλωση νερού για κάθε χρήση και το ποσοστό που της αναλογεί σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις. Η κατανάλωση νερού για την τουαλέτα κυμαίνεται μεταξύ 21÷33 L/άτομο/ημέρα. Αξίζει να σημειωθεί η μεγάλη διαφορά της αρδευτικής κατανάλωσης μεταξύ κάποιων περιπτώσεων, που αποτελεί και καθοριστικό παράγοντα της τελικής κατανάλωσης λόγω των μεγάλων αρδευτικών ποσοτήτων σε κάποιες περιπτώσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις ίσως να είναι περισσότερο αποδοτική η εφαρμογή συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού.

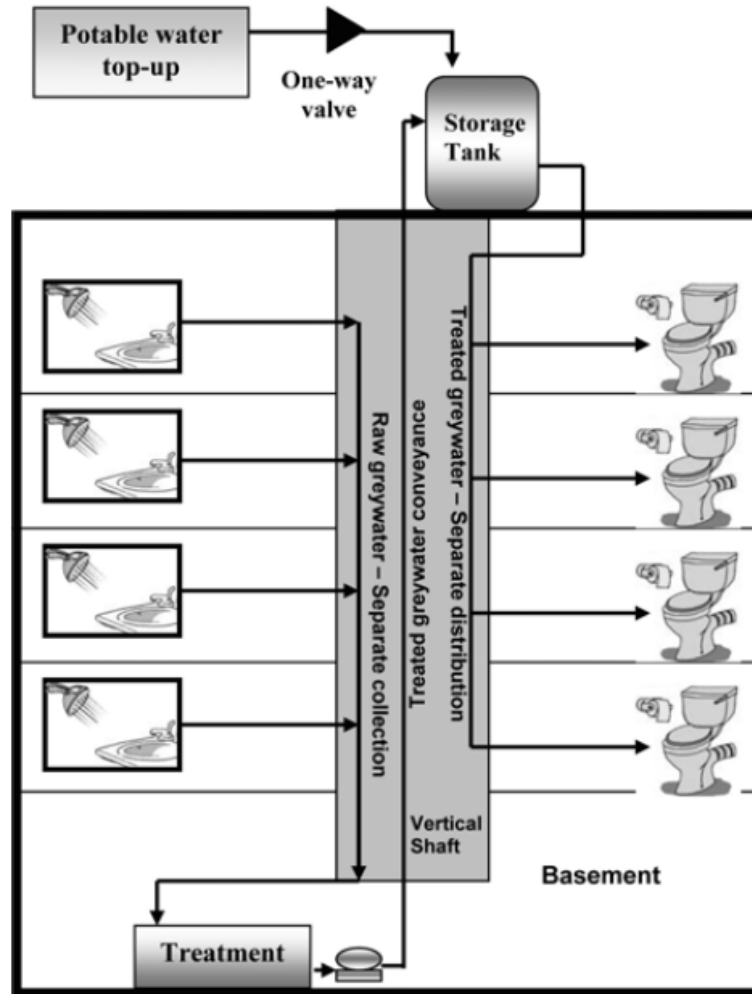
Στις πολύ φτωχές περιοχές, όπου το νερό πολλές φορές μεταφέρεται με τα χέρια, ο όγκος γκρι νερού που παράγεται είναι μόλις 20-30 λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα. Όταν αυξάνεται η διαθεσιμότητα αυξάνεται και η παραγόμενη ποσότητα, δύσκολα όμως ξεπερνά τα 100 λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα στις αναπτυσσόμενες περιοχές. Στις βιομηχανικές χώρες, η ποσότητα κυμαίνεται στα 100-200 λίτρα ανά κάτοικο την ημέρα, μερικές φορές και παραπάνω, με τις μεγαλύτερες ποσότητες να συναντώνται στην Αμερική και στον Καναδά. Στην Ευρώπη, στις νέες κατασκευαστικά περιοχές, όπου υπάρχει επίγνωση της αναγκαιότητας προστασίας των υδατικών πόρων, η παραγόμενη ποσότητα γκρι νερού είναι μικρότερη από 100 λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα (*WHO, 2006*). Στον Πιν Α-3 (του Παραρτήματος) παρουσιάζεται η εκτιμώμενη παραγωγή νερού για διάφορες χώρες.

Σε γενικές γραμμές, από ό,τι φαίνεται και από τις διάφορες έρευνες που παρατίθενται, σε ανεπτυγμένες χώρες, η χρήση του γκρι νερού μόνο στο το καζανάκι της τουαλέτας – που είναι από τις πιο ασφαλείς και αποδεκτές επιλογές επαναχρησιμοποίησης, στο εσωτερικό του νοικοκυριού – μπορεί να εξοικονομηθεί μια ποσότητα νερού 20 L/d/κατ ÷ 60 L/d/κατ, με συνήθεις τις τιμές μεταξύ 30 L/d/κατ και 40 L/d/κατ. Σύμφωνα με τους *Friedler and Hadari (2006)*, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια μείωση της ζήτησης νερού σε μια αστική περιοχή κατά 10% ÷ 25%.

2.5.5 Παραδείγματα Συστήματος Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού σε Κατοικία

Στο Σχήμα 2-5 παρουσιάζεται μια πιθανή διάταξη συστήματος επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού (*Friedler and Hadari, 2006*). Πρόκειται για έναν τύπο συστήματος, ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί σε μια πολυκατοικία, είτε σε μια ομάδα πολυκατοικιών. Τα κύρια μέρη είναι τα εξής:

- Το σύστημα συλλογής του ανεπεξέργαστου γκρι νερού από κάθε διαμέρισμα. Τα περισσότερα κτίρια κατασκευάζονται με τρόπο, ώστε να είναι σχετικά εύκολος ο διαχωρισμός του γκρι με το μαύρο νερό, αφού υπάρχει ξεχωριστό φρεάτιο των δευτερευόντων αγωγών, αυτό της μπανιέρας/ντουζιέρας και του νιπτήρα. Συνήθως, οι κεντρικοί, κάθετοι αγωγοί της αποχέτευσης βρίσκονται κοντά στο δωμάτιο του μπάνιου, ώστε να είναι μικρότερο το κόστος. Στο σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού που παρουσιάζεται, χρησιμοποιείται ένας επιπρόσθετος κεντρικός, κάθετος αγωγός, του οποίου ο ρόλος είναι η μεταφορά όλου του ανεπεξέργαστου γκρι νερού στο ισόγειο (είτε υπόγειο), όπου βρίσκεται η μονάδα επεξεργασίας.
- Τη μονάδα επεξεργασίας, όπου μετατρέπεται το γκρι νερό σε πράσινο νερό.
- Το σύστημα μεταφοράς του επεξεργασμένου (πράσινου) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης (η οποία στο παράδειγμα αυτό βρίσκεται στη στέγη του κτιρίου), με τη βοήθεια ενός αντλιοστασίου.
- Δύο δεξαμενές αποθήκευσης. Μία στη βάση του κτιρίου, δίπλα στη μονάδα επεξεργασίας, πριν το αντλιοστάσιο και μία στη στέγη του κτιρίου, όπου το επεξεργασμένο νερό είναι έτοιμο για επαναχρησιμοποίηση. Εάν υπάρχει έλλειψη διαθέσιμου πράσινου νερού στην άνω δεξαμενή αποθήκευσης, με ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου η δεξαμενή αυτή αναπληρώνεται με πόσιμο νερό από το κεντρικό δίκτυο, όπου έχει τοποθετηθεί και μια βαλβίδα αντεπιστροφής για να αποφευχθεί η ανάμιξη του γκρι νερού με το πόσιμο νερό του δικτύου. Εάν στο σύστημα γκρι νερού υπάρχει πλεονάζων νερό, ο πλημμυρικός όγκος θα πρέπει να αποχετεύεται στον κεντρικό αγωγό λυμάτων του κτιρίου (καλό είναι αυτό να προβλέπεται πριν το στάδιο της άντλησης ή και της επεξεργασίας, ώστε να αποφεύγεται η περιττή κατανάλωση ενέργειας).
- Το σύστημα διανομής του επεξεργασμένου νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης στα καζανάκια, σε κάθε διαμέρισμα. Αυτό επιτυγχάνεται με ξεχωριστό και πάλι κάθετο αγωγό, με αξιοποίηση της βαρύτητας.



Σχήμα 2-5 Παράδειγμα συστήματος επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού
(Πηγή: *Friedler and Hadari, 2006*).

Ένα άλλο παράδειγμα συστήματος επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού δίνεται με την Εικόνα 2-1. Πρόκειται για μία από τις πιο απλές και μικρές σε έκταση εφαρμογές. Το νερό από το νιπτήρα διοχετεύεται αμέσως στο καζανάκι και είναι έτοιμο για την έκπλυση της τουαλέτας.



Εικόνα 2-1 Μία μικρής εμβέλειας διάταξη επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού
(Πηγή: <http://inhabitat.com/dual-flush-toilet-is-a-sink-and-greywater-system-in-one/>)

2.5.6 Εμπειρίες από την Εφαρμογή της Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού

Οι Η.Π.Α., η Αυστραλία και η Ιαπωνία είναι τρεις πρωτοπόρες χώρες στην επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού. Οι κάτοικοι στις Δυτικές Η.Π.Α. και στην Αυστραλία ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν το γκρι νερό για το πότισμα των καλλωπιστικών κήπων του σπιτιού τους, με δική τους πρωτοβουλία, λόγω των ελλείψεων σε νερό. Εξαιτίας της ευρείας απήχησης που είχε αυτή η πρακτική οι Αρχές αναγκάστηκαν να την νομιμοποιήσουν και να θεσμοθετήσουν οδηγίες και όρια για να ελαχιστοποιήσουν τους περιβαλλοντικούς κινδύνους, τους κινδύνους για την υγεία και για να διασφαλιστεί ο έλεγχος λειτουργίας και σωστής χρήσης των συστημάτων. Η Καλιφόρνια ήταν η πρώτη Πολιτεία η οποία το 1992 προχώρησε σε αυτήν την ενέργεια. Η κυβέρνηση της Αυστραλίας από τον Ιανουάριο του 2009 επιδοτεί την εγκατάσταση συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού με \$500, ενώ στο Τόκιο της Ιαπωνίας η εγκατάσταση αυτή υπό ορισμένες συνθήκες είναι επιβεβλημένη λόγω των ελλείψεων σε νερό. Η Σιγκαπούρη είναι ένα ακόμη παράδειγμα περιοχής που έχει καταφύγει σε αυτήν την πρακτική.

Στην Ευρώπη, η πρακτική της επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού αναπτύσσεται κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γερμανία. Στις χώρες αυτές δεν είναι τόσο η έλλειψη νερού που δίνει μια τέτοια κατεύθυνση αλλά κυρίως η προστασία του περιβάλλοντος. Στην Ισπανία, από το 2002 έχει ξεκινήσει σε πολλές περιοχές η προσπάθεια υιοθέτησης συστημάτων γκρι νερού και επεκτείνεται. Εκεί (στην Ισπανία), η πρωτοβουλία ξεκινάει από τις Πολιτικές Αρχές που ορίζουν πολιτικές και κανονισμούς, χωρίς να ζητηθεί από το λαό και πριν αυτός αποκτήσει κάποιου είδους εξοικείωση (*Domènech and Saurí, 2010*).

Στην εργασία των (*Butler and Makropoulos, 2006*) το εύρος της εξοικονόμησης νερού από τη χρήση συστημάτων επαναχρησιμοποίησης νερού σε επίπεδο κατοικίας υπολογίζεται 5% ÷ 33% και η περίοδος απόσβεσης 10 ÷ 46 χρόνια. Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη εργασία αφορά το κράτος του Ηνωμένου Βασιλείου (UK) όπου η τιμή του νερού θεωρήθηκε σχετικά χαμηλή την περίοδο διεξαγωγής της έρευνας.

Στην εργασία *Jeppesen (1996)* υποστηρίζεται ότι για μία τυπική οικογένεια στο Brisbane της Αυστραλίας, εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όλο το διαθέσιμο γκρι νερό σε χλοοτάπητες (γκαζόν) και στους κήπους, μπορεί να εξοικονομηθεί νερό σε ποσοστό 30-50% της συνολικής κατανάλωσης.

Στη Μαλαισία η υιοθέτηση της επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε κατοικίες έχει εμφανίσει ένα ποσοστό εξοικονόμησης νερού περίπου 40% της συνολικής κατανάλωσης (*Mah et al., 2009*).

2.6 Ανακεφαλαίωση

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια γνωριμία με την ιδέα της επαναχρησιμοποίησης του νερού, με την έννοια της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικού νερού (IUWM) και με τα αποκεντρωμένα συστήματα αστικών υδατικών πόρων. Μία ειδική αναφορά γίνεται σχετικά με την αξιοποίηση του βρόχινου νερού και την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού, που αποτελεί και το βασικό αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία.

Η αύξηση του πληθυσμού των πόλεων και η ρύπανση των υδατικών πόρων δημιουργούν πιέσεις στη ζήτηση του νερού, με αποτέλεσμα πολλά κράτη να έχουν στραφεί στην ιδέα της

επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων (π.χ. ΗΠΑ, Κίνα, Ιαπωνία, Αυστραλία). Στην Ευρώπη απουσιάζει ένα κοινό πλαίσιο, όμως κάποια κράτη αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες προς αυτήν την κατεύθυνση (π.χ. Γαλλία, Ιταλία, Κύπρος, Ισπανία, Πορτογαλία).

Με την ολοκληρωμένη διαχείριση αστικού νερού, γίνεται η προσπάθεια ευρείας αντίληψης όλων των ροών του υδρολογικού κύκλου και όλων των υδατικών αναγκών, ακόμα και των οικολογικών. Γίνεται συνεκτίμηση των περιβαλλοντικών, των κοινωνικών, των πολιτιστικών και οικονομικών παραγόντων, με στόχο τη βιωσιμότητα των υδατικών συστημάτων. Λαμβάνονται υπόψιν οι τοπικές ιδιαιτερότητες, ενώ επιδιώκεται και η συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων στη λήψη αποφάσεων. Προς αυτήν την κατεύθυνση αναπτύσσονται συστήματα διαχωρισμού και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, αξιοποίησης βρόχινου νερού και του νερού υπόγειων υδροφορέων οι οποίοι εμπλουτίζονται και με τεχνητό τρόπο.

Παρόλο που συχνά τα μεγάλα, κεντρικά συστήματα θεωρούνται ότι επιτυγχάνουν οικονομίες κλίμακας, έχει αρχίσει να θεωρείται ότι υπό συνθήκες, διάφορες μορφές αποκεντρωμένων συστημάτων εντάσσονται καλύτερα στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικού νερού. Ορισμένα πλεονεκτήματα αυτών είναι η καλύτερη αξιοποίηση της τεχνολογίας, η αποφόρτιση των υπαρχόντων κεντρικών συστημάτων (και οι μειωμένες απαιτήσεις των νέων), η καλύτερη προσαρμογή στο φυσικό και αστικό περιβάλλον, η συμφωνία με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και η μείωση του κόστους μεταφοράς πολύ μεγάλων ποσοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις, ειδικά σε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων ροών στα ανάντη, δηλαδή εκεί όπου παρήχθησαν ως λύματα. Ενδεχομένως, ένα πρόσθετο όφελος να αποτελεί και η ανάπτυξη του ιδιωτικού τομέα σε μικρομεσαία κλίμακα, που μπορεί να δώσει ακόμη μεγαλύτερη ώθηση προς την κατεύθυνση αυτή. Επίσης, ενθαρρύνεται και η ιδέα της αυτοδιαχείρισης.

Το βρόχινο νερό από τις στέγες αποτελεί έναν καθαρό υδατικό πόρο, τον οποίο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε πολλές εφαρμογές, ενώ με απλή επεξεργασία οι δυνατές χρήσεις είναι ακόμα περισσότερες. Τα συστήματα αξιοποίησης βρόχινου νερού συνήθως εφαρμόζονται σε επίπεδο οικιστικής μονάδας και η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται κατά το μεγαλύτερο βαθμό από το μέγεθος των κατακρημνίσεων. Εκτός από την εξοικονόμηση και τα οφέλη των αποκεντρωμένων συστημάτων τα συστήματα αυτά συμβάλλουν και στη μείωση του κινδύνου πλημμύρας, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μικρό. Τα βασικά συστατικά μέρη είναι η επιφάνεια συλλογής, το σύστημα μεταφοράς της απορροής και η δεξαμενή αποθήκευσης. Η επιφάνεια θα πρέπει να είναι λεία, καθαρή και μη τοξική. Η δεξαμενή αποθήκευσης αποτελεί το πιο δαπανηρό κομμάτι, μπορεί να είναι είτε επιφανειακή, είτε υπόγεια. Ο όγκος της κυμαίνεται $4 \div 16 \text{ m}^3$ και το κόστος αυτής 1500€ και 4000€. Καλό είναι να κατασκευάζονται κλειστές, ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη εντόμων (π.χ. κουνουπιών). Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, από την καθαρότητα της στέγης και συχνά περιλαμβάνει παθογόνα που προέρχονται από περιττώματα ζώων, για παράδειγμα πουλιών. Επιθυμητός είναι ο τακτικός καθαρισμός όλων των μερών του συστήματος και η απομάκρυνση του πρώτου όγκου απορροής όταν υπάρχει βρωμιά στην επιφάνεια συλλογής.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού έχει αρχίσει να αναπτύσσεται ευρέως ως ιδέα, για παράδειγμα στις Η.Π.Α., στην Αυστραλία, στην Ιαπωνία, στο Ηνωμένο Βασίλειο και στη Γερμανία. Το γκρι νερό μπορεί να διαχωριστεί ανάλογα με την προέλευσή του στο νερό του μπάνιου, της κουζίνας και του πλυντηρίου ρούχων. Ο όγκος παραγόμενου γκρι νερού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η κατοίκηση, η ηλικία των ενοίκων, η οικονομική, κοινωνιολογική και πολιτισμική κατάσταση, ο τύπος οικίας (π.χ. μονοκατοικία, πολυκατοικία, ξενοδοχείο), το είδος των συσκευών κατανάλωσης που χρησιμοποιούνται. Σημαντικοί είναι και οι κλιματικοί παράγοντες, οι περιβαλλοντικοί (π.χ. διαθέσιμοι πόροι), αλλά διαφοροποίηση υπάρχει και σχετικά με την εποχιακή διακύμανση (χειμώνας, καλοκαίρι). Το νερό που καταναλώνεται κατά τη χρήση της τουαλέτας εκτιμάται να αποτελεί το 20%-50% της συνολικής κατανάλωσης, με περισσότερο συνήθως τα ποσοστά 30%-40%. Σε μία έρευνα διαφόρων περιοχών της Αυστραλίας οι μέσες καταναλώσεις κυμάνθηκαν 21-33 L/άτομο/ημέρα.

Μερικά οφέλη από την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού είναι η εξοικονόμηση νερού, η μείωση των πιέσεων ζήτησής του, η δυνατότητα αύξησης είτε δημιουργίας δραστηριοτήτων που εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητά του (π.χ. άρδευση), η εξοικονόμηση κόστους άντλησης υπόγειων υδάτων (το οποίο αυξάνεται όσο αυξάνεται και το βάθος άντλησης) και η ενδεχόμενη συνεισφορά στον εμπλουτισμό των υδάτων αυτών. Άλλα πλεονεκτήματα αποτελούν τα οφέλη των αποκεντρωμένων συστημάτων, σε περίπτωση εφαρμογής σε αποκεντρωμένο επίπεδο και η προστασία από περαιτέρω ρύπανση των οικοσυστημάτων, όπου το γκρι νερό θα διετίθετο μαζί με το μαύρο νερό (μεικτά λύματα). Ένα ακόμη πλεονέκτημα σε σύγκριση με την αξιοποίηση του βρόχινου νερού είναι η συνεχής παραγωγή του γκρι νερού, εξαιτίας της σχετικής ανεξαρτησίας του από κλιματικούς παράγοντες και εποχιακές διακυμάνσεις.

Εκτίμηση και Διαχείριση Κινδύνου

Στην προσπάθεια να προσεγγίσουμε την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού με μια ποιοτική και ποσοτική σύγκριση ωφελειών και κόστους πρέπει να μελετήσουμε τους πιθανούς κινδύνους που εγκυμονεί η εφαρμογή αυτή. Θα αναφερθούμε εδώ στο πλαίσιο μέσα από το οποίο αντιμετωπίζουμε τους κινδύνους που σχετίζονται με τη δημόσια υγεία και προέρχονται από μολυσματικούς παράγοντες που βρίσκονται στο νερό.

3.1 Δημόσια Υγεία

Ένας ορισμός που έχει δοθεί για τη δημόσια υγεία την περιγράφει ως «την τέχνη και επιστήμη πρόληψης νοσημάτων, βελτίωσης της υγείας μέσω οργανωμένων προσπαθειών μιας κοινωνίας». Οι οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας θεωρούν εξ' αρχής ότι παθογόνοι παράγοντες εμφανίζονται στο περιβάλλον κι ότι υπάρχει ευπαθής σε αυτούς πληθυσμός (*Payment and Hunter, 2001*). Υπάρχουν πολλές επιστημονικές προσεγγίσεις για να διερευνηθούν οι αιτίες, οι επιπτώσεις και οι μέθοδοι ελέγχου των νοσημάτων. Μεταξύ αυτών είναι η μαθηματική προσομοίωση, οι επιστήμες της φυσικής και της βιολογίας, οι κοινωνικές και οικονομικές επιστήμες, οι δημογραφικές και οι στατιστικές μελέτες. Ο πιο στενός επιστημονικός τομέας όμως είναι η επιδημιολογία (*Eisenberg et al., 2001*).

Επιδημιολογία είναι η επιστήμη που μελετά της καθοριστικούς παράγοντες και τη συχνότητα εμφάνισης αυτών, που σχετίζονται με την κατάσταση και τα επεισόδια υγείας της πληθυσμού, και είναι ακόμα η επιστήμη που μελετά τον έλεγχο των προβλημάτων υγείας (*WHO, 2006^a*). Οι περιβαλλοντικές διεργασίες όμως είναι πολύπλοκες και δεν καθίσταται (προς το παρόν) δυνατό να βγει ένα απολύτως επιστημονικά ορθό συμπέρασμα που αφορά τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Έτσι για τη λήψη αποφάσεων απαιτείται προσεκτική μελέτη των πληροφοριών κάθε επιστημονικού τομέα, αλλά και των περιορισμών αυτών των πληροφοριών. Οι κύριοι τύποι παρεμβάσεων για τη βελτίωση της δημόσιας υγείας είναι (*Eisenberg et al., 2001*):

- Προληπτική ιατρική περίθαλψη.
- Αγωγή υγείας και αλλαγή νοοτροπίας.
- Έλεγχος του περιβάλλοντος.
- Άσκηση πιέσεων για τη δημιουργία πολιτικής βούλησης.

Στόχος του ελέγχου του περιβάλλοντος είναι η προστασία του πληθυσμού από μολυσματικά και επιβλαβή στοιχεία. Στη διαχείριση και στην επαναχρησιμοποίηση υδάτων, μέλημά μας είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη παρουσία τέτοιων στοιχείων στο νερό και η ασφαλέστερη κατά το δυνατόν διάθεσή τους είτε για χρήση είτε στο περιβάλλον.

3.2 Διαφοροποίηση Χημικού και Μικροβιολογικού Κινδύνου

Πριν αναπτύξουμε ένα πλαίσιο με το οποίο προσεγγίζουμε τη διαχείριση των κινδύνων για τη δημόσια υγεία, θα διαχωρίσουμε τον μικροβιολογικό από το χημικό κίνδυνο. Σε αντίθεση με τον κίνδυνο που προέρχεται από τα χημικά στοιχεία, στο μικροβιολογικό

κίνδυνο δεν ισχύει ο ξεκάθαρος διαχωρισμός μεταξύ της εκτίμησης του κινδύνου και της διαχείρισης του κινδύνου, αλλά υπάρχει μια αλληλεπίδραση. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας διαφόρων μικροβιολογικών χαρακτηριστικών, μερικά από τα οποία διατυπώνονται ως εξής (*Bartram et al., 2001*):

- Αναγνωρίζεται ότι υπάρχουν σημαντικοί και πολλαπλοί μικροβιολογικοί κίνδυνοι, οι οποίοι προέρχονται από τα περιπτώματα κι ότι υπάρχουν αρκετοί τέτοιοι κίνδυνοι, οι οποίοι δεν έχουν αναγνωριστεί ακόμη.
- Αναγνωρίζεται ότι σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να προκύψουν από μικρής διάρκειας έκθεση.
- Επικρατεί μια προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία σημαντικοί παθογόνοι παράγοντες υπάρχουν διασκορπισμένοι, η εμφάνισή τους και η ταχύτητα αυτών ποικίλει στο χώρο και στο χρόνο, οπότε η απουσία μέτρων προστασίας αποτελεί από μόνη της κίνδυνο.

Ενώ στην περίπτωση των χημικών κινδύνων, το βασικό πόρισμα της μελέτης είναι μια τιμή που εκφράζεται ως η συγκέντρωση της ουσίας που μελετάμε (π.χ. από μια άμεση μέτρηση ενός επικίνδυνου για την υγεία στοιχείου), στην περίπτωση των μικροβιολογικών κινδύνων βασιζόμαστε όχι στην ίδια την ουσία, αλλά σε κάποιους δείκτες – συνήθως πρόκειται για παθογόνους παράγοντες – από τη μελέτη των οποίων εξάγονται τα διάφορα συμπεράσματα για τη λειτουργία των μέτρων προστασίας.

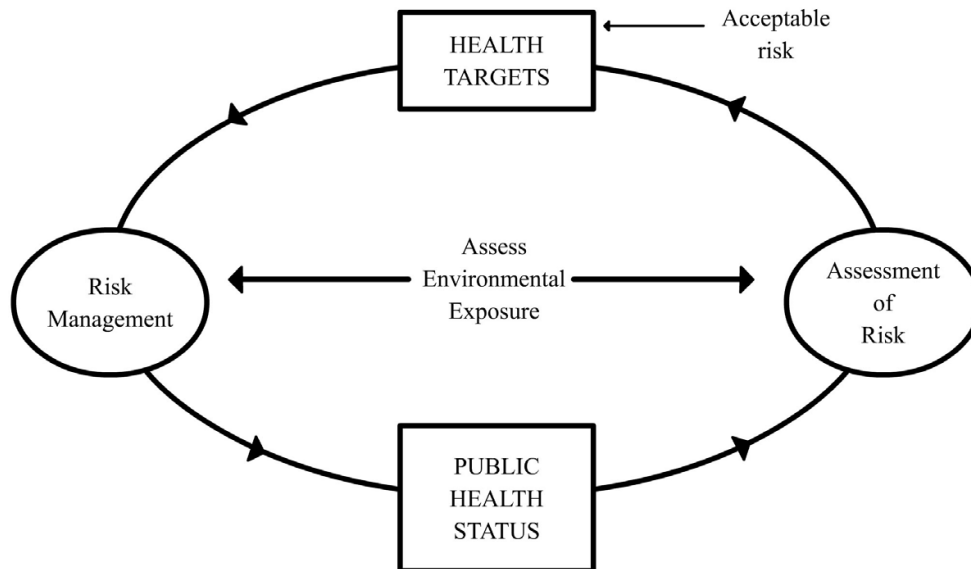
3.3 Το Εναρμονισμένο Πλαίσιο της Στοκχόλμης (Harmonised Framework)

Η ανάγκη για μια βάση με ακριβέστερα στοιχεία που αφορούν το περιβάλλον και την υγεία συνήθως τείνει να αναζητά την απόκριση των μελών μιας κοινωνίας σε συγκεκριμένες συνθήκες έκθεσης σε μολυσματικούς παράγοντες. Συχνά τα στοιχεία αυτά «δόσης-απόκρισης» του πληθυσμού είναι ανεπαρκή. Προέρχονται, άμεσα ή έμμεσα, από τέσσερις βασικές πηγές πληροφόρησης:

1. Από επιδημιολογικές μελέτες νόσων που εμφανίζονται υπό συνήθεις συνθήκες έκθεσης.
2. Από μελέτες κρουσμάτων των νόσων.
3. Από μελέτες που διεξάγονται πάνω σε εθελοντές.
4. Από τη μικροβιολογική εκτίμηση του κινδύνου. Αυτή παρέχει ένα πλαίσιο, μέσω του οποίου συνδυάζονται δεδομένα από διάφορες πηγές και χρησιμοποιούνται αποτελεσματικότερα από ό,τι αν χρησιμοποιούνταν μεμονωμένα.

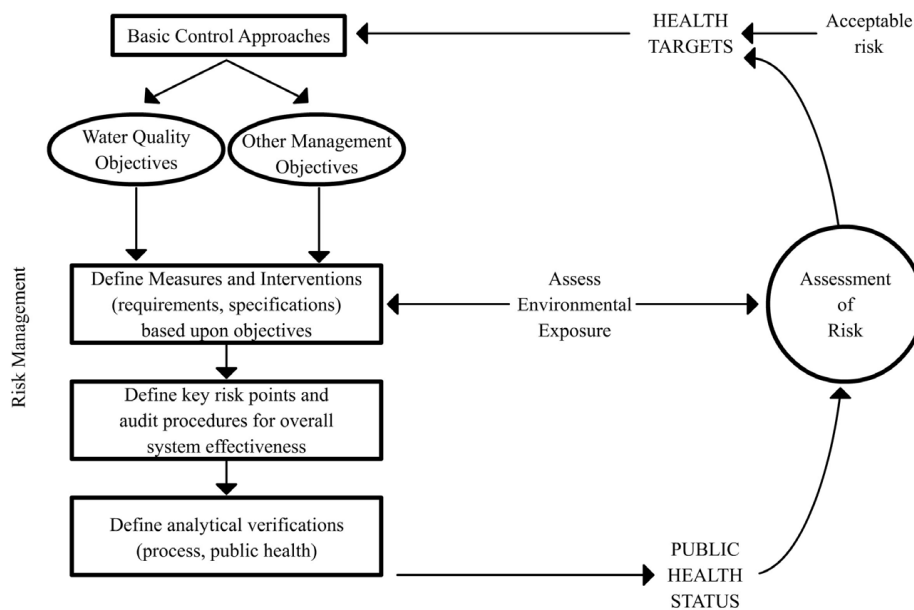
Η ανάγκη μιας συνολικής προσέγγισης της μικροβιολογικής εκτίμησης του κινδύνου και της διαχείρισης του κινδύνου οδήγησε στη διαμόρφωση μιας εναρμονισμένης προσέγγισης για τα πεδία αυτά. Αυτό πραγματοποιήθηκε σε μία συνάντηση ειδικών επιστημόνων, όπου προέκυψε το εναρμονισμένο πλαίσιο της Στοκχόλμης, το 1999, για την ανάπτυξη οδηγιών και κανονισμών για τους μικροβιολογικούς κινδύνους που σχετίζονται με το νερό (*Bartram et al., 2001*). Το πλαίσιο αυτό απεικονίζεται ως ένας επαναληπτικός κύκλος, ο οποίος περιέχει τους εξής τομείς (Σχήμα 3-1):

1. Την εκτίμηση του κινδύνου (Assessment of Risk).
2. Εκτίμηση των ευρύτερων περιβαλλοντικών διεργασιών (Assess Environmental Exposure).
3. Το βαθμό αποδοχής του κινδύνου (Risk Acceptability).
4. Τη θέσπιση υγειονομικών στόχων (Health Targets).
5. Τη διαχείριση του κινδύνου (Risk Management).
6. Την εκτίμηση της κατάστασης της δημόσιας υγείας (Public Health Status).



Σχήμα 3-1 Πλαίσιο εκτίμησης και διαχείρισης μικροβιολογικού κινδύνου (Πηγή: *Bartram et al., 2001*).

Παρακάτω παραθέτουμε μια διευρυμένη μορφή του πλαισίου, όπου η διαδικασία της διαχείρισης του κινδύνου (risk management) παρουσιάζεται με περισσότερες λεπτομέρειες (Σχήμα 3-2).



Σχήμα 3-2 Διευρυμένο πλαίσιο εκτίμησης και διαχείρισης μικροβιολογικού κινδύνου (Πηγή: *Bartram et al., 2001*)

3.3.1 Εκτίμηση Κινδύνου (Assessment of Risk)

Η εκτίμηση του κινδύνου (Assessment of Risk) μόλυνσεως δεν αποτελεί αυτοσκοπό για τη διαχείριση του συστήματος, αποτελεί όμως μια βάση για τη λήψη αποφάσεων και είναι το σημείο εκκίνησης της επαναληπτικής διαδικασίας για την πρώτη φορά (*Bartram et al., 2001*). Η εκτίμηση του κινδύνου είναι η διαδικασία αξιολόγησης του κινδύνου που διατρέχει ο άνθρωπος όσον αφορά την υγεία του, όταν εκτίθεται σε διάφορες ουσίες. Εκτιμά δηλαδή αν υπάρχει κίνδυνος και πόσο σοβαρός είναι αυτός (*Deere et al., 2001*). Εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις που μελετάται η ανθρώπινη υγεία. Μία από αυτές είναι και η χρήση του νερού.

Η πιθανότητα μετάδοσης παθογόνων στοιχείων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως (*WHO, 2006*):

- Τα επιδημιολογικά χαρακτηριστικά (συμπεριλαμβανομένων των μολυσματικών δόσεων, της λανθάνουσας κατάστασης των μικροοργανισμών, των χαρακτηριστικών των ξενιστών και των ενδιάμεσων ξενιστών).
- Η αντοχή των παθογόνων στοιχείων σε διαφορετικά περιβάλλοντα εκτός του ανθρώπινου σώματος (και η πιθανότητα ανάπτυξης).
- Οι κύριες διαδρομές μετάδοσης.
- Η σχετική ευπάθεια σε διαφορετικές τεχνικές επεξεργασίας.
- Τα μέτρα του ελέγχου της διαχείρισης.

Ένα μολυσμένο άτομο απεκκρίνει παθογόνα, συχνά σε πολύ μεγάλες ποσότητες και για αρκετές μέρες. Δεν εμφανίζουν όμως όλες οι μολύνσεις συμπτώματα. Η νοσηρότητα είναι το μέγεθος του ποσοστού των ανθρώπων που θα εμφανίσουν κλινικά συμπτώματα αφότου μολυνθούν.

Το ζητούμενό μας είναι η καλύτερη εκτίμηση του κινδύνου, δηλαδή η πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση και όχι μια ασφαλής εκτίμηση που θα περιλαμβάνει πολύ συντηρητικές παραμέτρους. Αυτό γίνεται στην προσπάθεια καλύτερης ενημέρωσης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, καλύτερης ανάλυσης κόστους-ωφέλειας και της ιεράρχησης των προτεραιοτήτων των παρεμβάσεων.

Στην απλούστερή της μορφή, η διαδικασία της εκτίμησης του κινδύνου αποτελείται από τέσσερα βήματα (*Haas and Eisenberg, 2001*):

- Εντοπισμός επικίνδυνου στοιχείου (hazard assessment).
- Εκτίμηση μεγέθους έκθεσης (exposure assessment).
- Ανάλυση δόσης – απόκρισης (dose – response analysis).
- Χαρακτηρισμός κινδύνου (risk characterisation).

Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τα βήματα αυτά, τροφοδοτεί τη διαδικασία της διαχείρισης του κινδύνου.

3.3.1.1 Εντοπισμός Επικίνδυνου Στοιχείου (Hazard Assessment)

Ο εντοπισμός επικίνδυνου στοιχείου, όσον αφορά τους μικροοργανισμούς, είναι μια σαφής διαδικασία. Πρόκειται για την αναγνώριση των παθογόνων μικροοργανισμών που αποτελούν πιθανό παράγοντα μόλυνσης όπως επίσης και το φάσμα των ανθρώπινων προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με κάθε παθογόνο παράγοντα (*Haas and Eisenberg, 2001*). Χρειάζεται ακόμα να εξεταστούν οι πολλαπλές διαδρομές μετάδοσης, οι διάφορες χρονικές στιγμές μετάδοσης και η αποκτηθείσα ανοσία. Επειδή δεν είναι εφικτό να εκτιμηθούν οι πιθανές συνέπειες για όλα τα περιπτώματα παθογόνα στοιχεία, συχνά επιλέγονται μερικά από αυτά ως δείκτες παθογόνων.

Το επίπεδο της διάδοσης περιπτώματων παθογόνων στοιχείων σε έναν ανθρώπινο πληθυσμό είναι μία είδους μέτρηση της παρουσίας τους στο περιβάλλον. Κάποιοι παράγοντες που μπορούν να μελετηθούν κατά τη διαδικασία προσδιορισμού της διάδοσης αυτής είναι (*WHO, 2006*):

- Η εξάπλωση της νόσου και η συχνότητα εμφάνισης (αν είναι δυνατόν διορθωμένα από τον μειωμένο αριθμό που δηλώθηκε).
- Το ποσοστό των μολύνσεων που καταλήγουν σε νόσημα (νοσηρότητα, διαφέρει μεταξύ των οργανισμών).
- Η επικράτηση σε φορείς που δεν εκδηλώνουν συμπτώματα (διαφέρει μεταξύ των οργανισμών)

Ένα από τα πορίσματα που προκύπτουν από αυτό το στάδιο είναι η επιλογή των κύριων παραγόντων των οποίων θα μετρηθούν τα αποτελέσματα, που θα μας οδηγήσουν στην εκτίμηση του κινδύνου. Τα αποτελέσματα μπορεί να περιλαμβάνουν τη μόλυνση (όχι απαραίτητως την ασθένεια), τη νοσηρότητα ή τη θνησιμότητα. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να αφορούν το γενικότερο πληθυσμό, είτε απλώς κάποιες ευαίσθητες ομάδες. Παρόλο που η θνησιμότητα από λοιμώδεις παράγοντες ακόμα και στο γενικό πληθυσμό δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, η γενική τάση στην μικροβιολογία των υδάτων είναι η εξέταση, συγκεκριμένα, των λοιμώξεων του γενικού πληθυσμού, ως το βασικό στοιχείο κινδύνου, έναντι του οποίου θα πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας. Σ' αυτό συμβάλλει σε ένα βαθμό η έμφυτη συντηρητική τάση να θεωρείται η μόλυνση ως το καταληκτικό σημείο, αλλά συμβάλλει και η αδυναμία εκτίμησης των κινδύνων για κάποιες περισσότερο ευπαθείς ομάδες πληθυσμού.

Τα σημαντικότερα της βήματα της «Ποσοτικής Εκτίμησης Μικροβιολογικού Κινδύνου» (*Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA)*) είναι τα άλλα τρία, που είναι η εκτίμηση μεγέθους έκθεσης, η ανάλυση δόσης – απόκρισης και ο χαρακτηρισμός κινδύνου.

3.3.1.2 Εκτίμηση μεγέθους Έκθεσης (Exposure Assessment)

Ο σκοπός της εκτίμησης αυτής είναι να οριστεί η μικροβιακή δόση που δέχεται άμεσα ο τυπικός χρήστης νερού (*Haas and Eisenberg, 2001*). Στην περίπτωση της μικροβιολογίας των υδάτων η εκτίμηση αυτή μάλλον απαιτεί τον υπολογισμό των μικροβιακών ποσοτήτων, τόσο στην πηγή, όσο και στο τελικό στάδιο κατανάλωσης, αφού έχουν μεταβληθεί οι μικροβιακές συγκεντρώσεις, έπειτα από την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διανομή του νερού.

Ένα δεύτερο ζήτημα που προκύπτει σε αυτό το στάδιο, είναι η ποσότητα του μολυσμένου υλικού, του νερού στην περίπτωση της, που καταναλώνεται σε κάθε χρήση. Για παράδειγμα, για την πόση νερού, μία συνήθης τιμή που χρησιμοποιείται είναι τα δύο λίτρα νερού / άτομο / ημέρα, αν και είναι μάλλον συντηρητική.

3.3.1.3 Ανάλυση Δόσης – Απόκρισης (Dose – Response Analysis)

Είναι γενικώς απαραίτητο να διαμορφωθούν παραμετρικές σχέσεις δόσης – απόκρισης από πειραματικά δεδομένα, αφού ο μέγιστος ανεκτός κίνδυνος είναι πολύ χαμηλότερος από αυτόν που υπολογίζεται άμεσα από τα πειράματα (για πρακτικό αριθμό πειραμάτων). Συνεπώς, είναι απαραίτητο να επεκταθεί η σχετική καμπύλη δόσης – απόκρισης στη γραφική περιοχή μικρών δόσεων (*Haas and Eisenberg, 2001*).

Στην ποσοτική εκτίμηση μικροβιολογικού κινδύνου (QMRA), για πολλούς μικροοργανισμούς είναι διαθέσιμες μελέτες δόσης – απόκρισης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των επιπτώσεων σε περίπτωση έκθεσης σε μικρές ποσότητες μικροοργανισμών. Από διάφορες έρευνες προκύπτει ότι αυτές οι μελέτες περιγράφονται επαρκώς από κάποια μερικώς μηχανιστικά (semi-mechanistic) μοντέλα των διαδικασιών λοίμωξης. Ένα από αυτά είναι το εκθετικό μοντέλο, το οποίο προκύπτει από την παραδοχή της τυχαίας εμφάνισης μικροοργανισμών, σε συνδυασμό με μια σταθερή πιθανότητα έναρξης του φαινομένου της μόλυνσης από έναν και μόνο μικροοργανισμό (r). Η πιθανότητα μόλυνσης (P_I) δίνεται ως συνάρτηση της εισερχόμενης μικροβιακής δόσης (d) (*Haas and Eisenberg, 2001*):

$$P_I = 1 - \exp(-rd)$$

Εκτός από αυτά τα μερικώς μηχανιστικά μοντέλα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πλήθος άλλων εμπειρικών μοντέλων. Τρία από αυτά που είχαν χρησιμοποιηθεί αρχικώς, στην εκτίμηση χημικού κινδύνου, είναι τα log-logistic, Weibull και log-probit.

Γενικώς όμως, υπάρχουν αρκετά μοντέλα όπου τα διαθέσιμα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν με στατιστικά αποδεκτό τρόπο, προσφέροντας όμως παράλληλα πολύ διαφορετικές εκτιμήσεις για το κίνδυνο σε εικαζόμενες μικρές δόσεις. Αυτή η κατάσταση αντιμετωπίζεται συχνά στην εκτίμηση κινδύνου. Στην ποσοτική εκτίμηση μικροβιολογικού κινδύνου (QMRA) υπάρχει η δυνατότητα να εξεταστεί η καταλληλότητα διαφορετικών συναρτήσεων δόσης – απόκρισης μέσω επικύρωσης από δεδομένα κρουσμάτων.

Έχοντας μια σειρά από δεδομένα δόσης – απόκρισης, που σχετίζονται με την έκθεση των ανθρώπινων πληθυσμών σε διάφορες δόσεις μικροοργανισμών, σε συνδυασμό με άλλες πραγματικές μετρήσεις περιστατικών μόλυνσεως, οι καταλληλότερες τιμές των παραμέτρων των σχέσεων δόσης – απόκρισης μπορούν να υπολογιστούν μέσω συνήθων τεχνικών μεγίστης πιθανοφάνειας. Ύστερα μπορούν να επιλεγθούν τα όρια εμπιστοσύνης και να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την εκτίμηση της απόκρισης σε χαμηλές δόσεις. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι συνήθως οι μελέτες δόσης – απόκρισης διεξάγονται με υγιείς ενήλικες κι ίσως να μην απεικονίζουν την πραγματική απόκριση του γενικού πληθυσμού.

3.3.1.4 Χαρακτηρισμός Κινδύνου (Risk Characterisation)

Η διαδικασία του χαρακτηρισμού κινδύνου συνδυάζει τις πληροφορίες του μεγέθους της έκθεσης και της δόσης – απόκρισης σε μια συνολική εκτίμηση της πιθανότητας της δυσμενούς συμβάντος (Haas and Eisenberg, 2001). Αυτό μπορεί να διεξαχθεί με δύο βασικούς τρόπους.

Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, μια απλή εκτίμηση του μεγέθους της έκθεσης, για παράδειγμα ο αριθμός των μικροοργανισμών που έχουν εισέλθει σε έναν ξενιστή, μπορεί να συνδυαστεί με μια απλή εκτίμηση των παραμέτρων δόσης – απόκρισης, ώστε να προκύψει η εκτίμηση του κινδύνου. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας την «καλύτερη» εκτίμηση, αν θέλουμε να έχουμε μια εικόνα της βασικής τάσης, ή χρησιμοποιώντας μια ακραία εκτίμηση για να έχουμε εικόνα των επιπτώσεων στην περίπτωση της δυσμενέστερης προσβολής.

Μια εναλλακτική προσέγγιση η οποία αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη αποδοχή είναι ο προσδιορισμός της κατανομής της έκθεσης, ο προσδιορισμός της κατανομής των σχέσεων δόσης – απόκρισης και εντέλει ο συνδυασμός τους με διάφορα εργαλεία που οδηγεί σε μια συνολική κατανομή του κινδύνου. Αυτή η προσέγγιση εμπεριέχει σημαντικές πληροφορίες για τη σχετική αβεβαιότητα της εκτίμησης κινδύνου, όπως επίσης αριθμητικά αποτελέσματα τόσο για τη βασική τάση, όσο και για τις ακραίες τιμές.

Ένα σημαντικό πόρισμα, που προκύπτει από τη διαδικασία χαρακτηρισμού κινδύνου, είναι η εκτίμηση της σχετικής συνεισφοράς της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας στον υπολογισμό του κινδύνου. Η μεταβλητότητα μπορεί να οριστεί ως η εγγενής ανομοιογένεια, που οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα κινδύνου μεταξύ τμημάτων του εκτεθειμένου πληθυσμού, που ίσως προκύπτουν λόγω διαφορετικών ευαισθησιών και διαφορετικής έκθεσης. Η αβεβαιότητα μπορεί να μειωθεί από επιπρόσθετες πηγές, που επικεντρώνονται για παράδειγμα στον προσδιορισμό της σχέσης δόσης – απόκρισης.

Αξίζει ωστόσο να σταθούμε σε ένα σημείο της διαδικασίας αυτής. Σε γενικές γραμμές, όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες δόσης – απόκρισης αφορούν μεμονωμένες δόσεις. Σε πραγματικές όμως συνθήκες έκθεσης οι δόσεις μπορεί να λαμβάνονται συχνά, κατά την πάροδο του χρόνου, είτε και συνεχώς σε τακτική βάση. Εάν υπάρχει έλλειψη συγκεκριμένων στοιχείων για τις επιπτώσεις και τους κινδύνους από προηγούμενα κρούσματα και εάν έχουμε μια σειρά δόσεων που λαμβάνονται, γίνεται η παραδοχή ότι ο κάθε κίνδυνος από κάθε ποσότητα είναι ανεξάρτητος από τον άλλο. Η παραδοχή αυτή όμως μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

3.3.1.5 Δυναμικές Παράμετροι

Η προσπάθεια, που έχει περιγραφεί προηγουμένως, στην εκτίμηση του κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, που προέρχεται από παθογόνους παράγοντες του νερού, βασίζεται κυρίως σε στατικά μοντέλα. Με αυτά υπολογίζεται η πιθανότητα ατομικής μόλυνσης, ως αποτέλεσμα ενός μεμονωμένου επεισοδίου έκθεσης. Κατά αυτόν όμως τον τρόπο παραβλέπονται κάποιοι σημαντικοί, δυναμικοί παράγοντες όπως:

- Δευτερογενής μετάδοση από άνθρωπο σε άνθρωπο.
- Μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη ανοσία.

- Περιβαλλοντική δυναμική των πληθυσμών των παθογόνων παραγόντων.

Υπάρχουν, ωστόσο, περιπτώσεις όπου μπορούν να γίνουν απλοποιητικές παραδοχές και να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά η διαδικασία του πρότυπου έλεγχου κινδύνου, που περιγράφηκε (*Haas and Eisenberg, 2001*).

3.3.1.6 Η Εκτίμηση Κινδύνου ως μέρος του Γενικού Πλαισίου Εκτίμησης και Διαχείρισης Κινδύνου

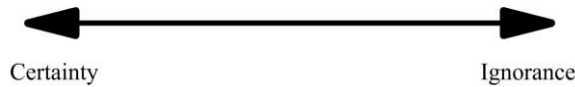
Οι εκτιμήσεις μικροβιακών κινδύνων θα πρέπει να συνδυάζονται και με τη διερεύνηση πιθανών μετέπειτα αποφάσεων ως προς την επεξεργασία του νερού και τις στρατηγικές διαχείρισης γενικότερα. Αν για παράδειγμα υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για τα αποτελέσματα συγκεκριμένων στρατηγικών, που αφορούν τη μείωση ενός συγκεκριμένου βακτηριδίου, τότε μπορεί να αξιολογηθεί και ο κίνδυνος που θα υπάρχει έπειτα από την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών.

Στη συνάντηση της Στοκχόλμης τονίστηκε ο κίνδυνος για την υγεία από βραχυπρόθεσμες μεταβολές της ποιότητας του νερού. Ο γενικός κίνδυνος για την υγεία δεν καθορίζεται από την «τυπική» ή τη «μέση» ποιότητα νερού, αλλά από την ποιότητά του σε μικρά χρονικά διαστήματα μειωμένης απόδοσης ή δυσλειτουργίας. Για το λόγο αυτό, ειδικά μέτρα πρέπει να λαμβάνονται για την επιλογή και τη διαχείριση ενεργειών αντιμετώπισης τέτοιων φαινομένων. Τα φαινόμενα αυτά θα πρέπει να συυπολογίζονται στην εκτίμηση των κινδύνων της ανθρώπινης υγείας (*Bartram et al., 2001*).

Γενικώς η εκτίμηση κινδύνου σε συνδυασμό με την επιδημιολογία και άλλες πηγές δεδομένων, μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο. Μπορεί να διερευνήσει περιπτώσεις όπως σπάνια γεγονότα μόλυνσης και δυσμενή επεισόδια, όπου η επιδημιολογία από μόνη της δεν επαρκεί. Η ευκολία με την οποία μπορούν να αλλάξουν οι τιμές των παραμέτρων στην εκτίμηση κινδύνου, την καθιστά ιδανική για την υιοθέτησή της από διεθνείς οδηγίες και πρότυπα, τα οποία θα εφαρμόζονται ανάλογα με τις τοπικές ιδιαιτερότητες και συνθήκες. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για υποθετικά σενάρια που θα βοηθήσουν τους στόχους και τις επιλογές του εκάστοτε φορέα διαχείρισης. Πάντως, η μέθοδος αυτή περιέχει και περιορισμούς και όπως συμβαίνει σε κάθε μοντέλο, η αξιοπιστία των πορισμάτων θα είναι στην καλύτερη περίπτωση τόση, όσο αξιόπιστες θα είναι και οι καταχωρήσεις (*Haas and Eisenberg, 2001*).

3.3.1.7 Πλαίσιο Διασφάλισης Ποιότητας (Quality Audit Framework)

Είναι λοιπόν χρήσιμο να αξιολογείται η αξιοπιστία και η βεβαιότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εκτίμηση του κινδύνου. Για το λόγο αυτό αναπτύσσονται πρότυπα ελέγχου της ποιότητας (*Macgill et al., 2001*) των αποτελεσμάτων αυτών, που είναι ένα πεδίο το οποίο απαιτείται να αναπτυχθεί περαιτέρω. Παρακάτω παραθέτουμε ένα απλό σχήμα, όπου οπτικοποιείται ένα φάσμα των προβλημάτων που αφορούν την εκτίμηση κινδύνου, βασισμένο στην αξιοπιστία των μεθόδων απ' όπου προέρχεται η διαθέσιμη επιστημονική πληροφορία (Σχήμα 3-3). Τα διεπιστημονικά προβλήματα από τη φύση της κείτονται προς τη δεξιά πλευρά, ενώ οι κλασικές εργαστηριακές επιστήμες κείτονται προς την αριστερή πλευρά.

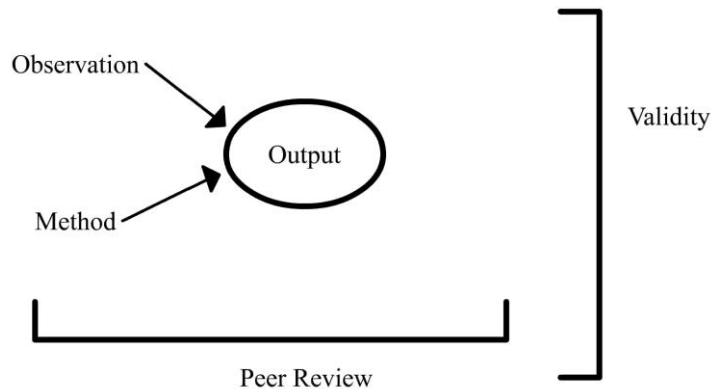


Σχήμα 3-3 Φάσμα αβεβαιότητας (Πηγή: *Macgill et al., 2001*).

Οι χρήστες της εκτίμησης κινδύνου, για να ερμηνεύσουν σωστά τα αποτελέσματα της μελέτης τους, θα πρέπει να γνωρίζουν το μέγεθος της αβεβαιότητας που συνοδεύει τα δεδομένα τους. Να γνωρίζουν σε ποια περιοχή του φάσματος βρίσκεται η επιστημονική μελέτη της οποίας τα αποτελέσματα χρησιμοποιούν για τη δική τους μελέτη, ως καταναλωτές των επιστημονικών αυτών προϊόντων.

Για το λόγο αυτό, είναι επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης κατάλληλων εργαλείων διασφάλισης. Ένα από τα προτεινόμενα πλαίσια διασφάλισης ποιότητας θα περιγραφεί με συντομία παρακάτω (Σχήμα 3-4). Βασίζεται σε μια σειρά κριτηρίων, βάσει των οποίων μπορεί να αξιολογηθεί με συστηματικό τρόπο η ισχύς των επιστημονικών καταχωρήσεων για τη διαδικασία χαρακτηρισμού του κινδύνου. Είναι απλό, συστηματικό, ευέλικτο, γίνεται με τρόπο ώστε να καταδεικνύεται η φύση των αδυναμιών και ταυτόχρονα παρέχει μια γενική εικόνα της ισχύος των υπολογισμών.

Η αβεβαιότητα των επιστημονικών καταχωρήσεων αναπαρίσταται με αριθμητικά δεδομένα. Παρακάτω δίνεται μια απλή εννοιολογική αναπαράσταση της διαδικασίας, στα στοιχεία της οποίας κατηγοριοποιείται και πραγματοποιείται ο έλεγχος.



Σχήμα 3-4 Εννοιολογική αναπαράσταση των στοιχείων του πλαισίου διασφάλισης ποιότητας (Πηγή: *Macgill et al., 2001*).

Η διαδικασία αυτή περιέχει αρχικά δύο κατηγορίες εισερχόμενης πληροφορίας, ένα εμπειρικό στοιχείο ή στοιχείο παρατήρησης και ένα θεωρητικό στοιχείο. Αυτές οι δύο εισροές παράγουν ένα αποτέλεσμα. Καθένα από τα τρία αυτά στοιχεία θα πρέπει να υπόκειται σε αξιολόγηση από επιστήμονες του ίδιου χώρου, από όπου θα προκύπτουν και τα τελικά αποτελέσματα. Τέλος, αιτιολογείται η λογική σχέση και ελέγχεται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, για κάθε πεδίο της διαδικασίας που μας ενδιαφέρει.

Έτσι, έχουμε πέντε κατηγορίες (παρατήρηση, μέθοδος, αποτέλεσμα, αξιολόγηση, έλεγχος εγκυρότητας), όπου για την καθεμιά θεσπίζονται διάφορα ερωτήματα, που αποτελούν τη βάση της σειράς κριτηρίων για τον έλεγχο ποιότητας των εισροών της εκτίμησης κινδύνου. Για την κάθε απάντηση στις ερωτήσεις αντιστοιχεί κι ένας αριθμός [π.χ. από 1 έως 5, βλ. (*Macgill et al., 2001*)]. Από τις απαντήσεις προκύπτει ένα συνολικό – αθροιστικό αριθμητικό

αποτέλεσμα. Αυτό μπορεί να μετατραπεί σε ποσοστιαίο και να χαρακτηριστεί αναλόγως, σύμφωνα με μια ομαδοποίηση που θα έχει επιλεχθεί. Για παράδειγμα:

0–20%	Poor
20–40%	Weak
40–60%	Moderate
60–80%	Good
80–100%	Excellent

Ένα υψηλό αριθμητικό αποτέλεσμα θα προσέδιδε περισσότερη σιγουριά, ενδεικτική μιας ώριμης επιστήμης. Χαμηλό αποτέλεσμα θα ήταν ένας παραπάνω λόγος να δοθεί προσοχή, αφού καταδεικνύει εμφανείς αδυναμίες στην αντίστοιχη επιστήμη. Παρ' όλα αυτά δεν θα πρέπει να αποτελεί λόγο ντροπής ή απόκρυψης της πραγματικότητας. Πρόκειται απλώς για μια ένδειξη του που βρισκόμαστε. Δεν σημαίνει απαραίτητως ότι μπορεί να γίνει κάτι καλύτερο.

Η διασφάλιση ποιότητας είναι μάλλον ανεπαρκής, όταν γίνεται απλώς διαισθητικά. Με τη μέθοδο όμως αυτή, τα στοιχεία που προκύπτουν, μπορούν να δίνονται επισήμως και σε κάθε ενδιαφερόμενο, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων. Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης εργαλείων ελέγχου ποιότητας θα υπάρξει αναπόφευκτα ένας συμβιβασμός μεταξύ της απλότητας και ευκρίνειας από τη μια μεριά, και της πιστής αναπαράστασης της πολυπλοκότητας και της λεπτομέρειας των επιστημονικών προσπαθειών από την άλλη.

Σε γενικές γραμμές, η διασφάλιση ποιότητας προσδίδει μεγαλύτερη διαφάνεια και αξιοπιστία στη διαδικασία της εκτίμησης κινδύνου. Η ευρεία υιοθέτηση της διασφάλισης ποιότητας θα απέτρεπε αρκετούς από το να δρουν κατά το δοκούν. Η επιστημονική κοινότητα οφείλει να αντιτίθεται στην απόκρυψη των ελλείψεων και των αμφίβολων παραδοχών που αφορούν τα στοιχεία των μελετών. Θα πρέπει να υπάρχει διαφάνεια (*Macgill et al., 2001*).

3.3.2 Εκτίμηση των Ευρύτερων Περιβαλλοντικών Διεργασιών (Assess Environmental Exposure)

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών παρέχει σημαντικές πληροφορίες στο ευρύτερο εναρμονισμένο πλαίσιο εκτίμησης και διαχείρισης του κινδύνου. Ένας σημαντικός ρόλος της διαδικασίας αυτής είναι η ιεράρχηση των πιθανών παρεμβάσεων στο γενικό πλαίσιο της περιβαλλοντικής έκθεσης σε παθογόνους μικροοργανισμούς. Για παράδειγμα, εάν το μεγαλύτερο ποσοστό έκθεσης σε ένα παθογόνο δεν σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση νερού, αλλά για παράδειγμα μόνο κατά 5%, τότε πιθανότατα θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην παρέμβαση στις άλλες διαδρομές μόλυνσεως από το παθογόνο αυτό, αφού τότε θα αναμένονται τα οφέλη για την ανθρώπινη υγεία να είναι μεγαλύτερα. Στην πραγματικότητα, αυτή η απλουστευμένη ανάλυση εξαρτάται από παράγοντες, όπως είναι η διαθεσιμότητα τρόπων παρέμβασης στις άλλες διαδρομές μετάδοσης, που συνήθως είναι πολλές και από το κόστος τους (*Bartram et al., 2001*).

3.3.3 Αποδεκτός Κίνδυνος (Acceptable Risk)

Ως κίνδυνο ορίζουμε την πιθανότητα μόλυνσης, ασθένειας, ή θανάτου, υπό ορισμένες συνθήκες. Αυτή η πιθανότητα είναι ένα αντικειμενικό μέγεθος το οποίο προσπαθούμε να

προσεγγίσουμε στην εκτίμηση κινδύνου. Η αντίληψη όμως ότι υπάρχει μια οριακή πιθανότητα κινδύνου, μέχρι την οποία υπάρχει αποδοχή από όλους, αποτελεί ένα δύσκολο θέμα προς διερεύνηση ((*Hunter and Fewtrell, 2001*)).

Το ευρύ κοινό προτιμάει βεβαίως την ιδέα του μηδαμινού κινδύνου. Όμως, αφενός μεν η ζωή ποτέ δεν μπορεί να είναι τελείως προστατευμένη από τον κίνδυνο, αφετέρου δε σε κοινωνίες όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι και οι ανάγκες των ανθρώπων ανταγωνίζονται η μια την άλλη, είναι πολύ σημαντικός ο προσδιορισμός του επιπέδου του «ανεκτού κινδύνου». Αυτό γίνεται έτσι ώστε οι υγειονομικοί στόχοι που τίθενται – και τους οποίους θα συναντήσουμε στη συνέχεια – να είναι λογικοί και εφικτοί και τα μέτρα που λαμβάνονται να είναι οικονομικώς αποδοτικά. Ο ανεκτός κίνδυνος αναφέρεται συνήθως ως «αποδεκτός κίνδυνος» αν και πολλοί προτιμούν τον όρο «ανεκτός», διότι ένας κίνδυνος για τον οποίο μπορεί κανείς να παίρνει συνεχώς επιπρόσθετα μέτρα, δεν μπορεί να είναι πραγματικά αποδεκτός, αλλά τον ανέχεται κανείς προκειμένου να δώσει έμφαση και σε άλλες προτεραιότητες (*Bartram et al., 2001*).

Στο κατά πόσον αποδεκτός είναι ο κίνδυνος παίζει ρόλο και κατά πόσον ο κίνδυνος αυτός είναι αντιληπτός. Έχει συνταχθεί μια λίστα με διάφορες οπτικές που λειτουργούν ως βάση στην προσπάθεια να προσδιοριστεί πότε ένας κίνδυνος είναι αποδεκτός ή έστω ανεκτός. Ένας κίνδυνος λοιπόν είναι αποδεκτός όταν (*Hunter and Fewtrell, 2001*):

- Είναι μικρότερος από μια υποκειμενικά καθορισμένη ως ανεκτή πιθανότητα.
- Είναι μικρότερος από ένα επίπεδο για το οποίο υπάρχει ήδη ανεκτικότητα.
- Αντιστοιχεί σε ένα μικρότερο κλάσμα φορτίου νοσηρότητας της κοινωνίας, από ένα αυθαίρετα καθορισμένο κλάσμα που θεωρείται αποδεκτό.
- Το κόστος μείωσης του κινδύνου θα υπερέβαινε το κόστος της μόλυνσης που προκύπτει υπό τις παρούσες συνθήκες, όπου συνυπολογίζεται και το μη καθαρά οικονομικό κόστος της ταλαιπωρίας από τη μόλυνση.
- Τα κόστη ευκαιρίας (opportunity costs) θα ήταν προτιμότερο να διατεθούν για άλλα, πιο επιτακτικά προβλήματα δημόσιας υγείας.
- Οι ειδικοί σε θέματα δημόσιας υγείας υποστηρίζουν ότι είναι αποδεκτός.
- Η κοινωνία τον αντιλαμβάνεται ως αποδεκτό (ή συνηθέστερα δεν τον εκλαμβάνει ως μη αποδεκτό).
- Οι πολιτικοί υποστηρίζουν ότι είναι αποδεκτός.

Συνήθως, οι αποφάσεις που αφορούν την αποδοχή κινδύνου είναι δύσκολες και πολύπλοκες. Σε γενικές γραμμές, οι προσεγγίσεις που γίνονται, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σ' εκείνες που δίνουν έμφαση της επίσημες αναλύσεις και τη γνώμη των ειδικών επιστημόνων, και σ' εκείνες που δίνουν έμφαση στις πολιτικές διαπραγματευτικές διαδικασίες. Ο διαχωρισμός της μπορεί να διατυπωθεί και ως, προσεγγίσεις με αντικειμενικά κριτήρια ή με υποκειμενικά κριτήρια αντιστοίχως.

Όμως, όπως είδαμε υπάρχουν αρκετές αβεβαιότητες, με αποτέλεσμα τα επιστημονικά πορίσματα να μην είναι πάντοτε απολύτως αντικειμενικά και να επιδέχονται υποκειμενικές αλλοιώσεις. Για παράδειγμα, οι επιστήμονες μπορεί να επηρεαστούν από τις προσωπικές τους απόψεις, από τη θέληση των κοινωνιών των οποίων αποτελούν μέλη, από την οπτική

του δικού τους επιστημονικού χώρου ή από τα συμφέροντα του εργοδοτικού τους οργανισμού. Οι ειδικοί λοιπόν αποτελούν μία από τις εμπλεκόμενες ομάδες και δεν πρέπει να έχουν οπωσδήποτε μεγαλύτερη ισχύ από τις υπόλοιπες εμπλεκόμενες ομάδες.

Από την άλλη μεριά, και οι διαπραγματευτικές διαδικασίες δεν οδηγούν πάντοτε σε βέλτιστες λύσεις, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν ανισότητες μεταξύ των εμπλεκόμενων σε ισχύ, γνώσεις ή πόρους. Ακόμα και στις κοινωνίες που είναι οργανωμένες ώστε να λαμβάνεται υπόψιν η κοινή γνώμη, δεν σημαίνει απαραίτητως ότι η απόφαση που θα παρθεί θα είναι και η σωστή. Πολλές φορές η στάση της κοινωνίας σε σχέση με την επικινδυνότητα είναι αντιφατική, ίσως και παράλογη. Είναι επίσης επικίνδυνο να επαφιάμαστε στον επηρεασμό της κοινής γνώμης από τα μέσα ενημέρωσης και τις ομάδες πίεσης. Όμως δεν θεωρείται και ορθό, οι πληθυσμοί που πρόκειται να ζήσουν εκτεθειμένοι στον κίνδυνο, να παίζουν τον μικρότερο ρόλο στη σχετική διαβούλευση.

Λόγω των παραπάνω προβλημάτων, είναι σημαντικός ο ρόλος των οργανισμών δημόσιας υγείας που οφείλουν να προσπαθούν να προσφέρουν αντικειμενικά καλές λύσεις, προλαμβάνοντας κυρίως προβλήματα δημόσιας υγείας, γεγονός που εμπεριέχει και ένα είδος προστασίας για τις πιο αδύναμες και πολλές φορές άμεσα εκτεθειμένες ομάδες. Μια σειρά βημάτων που προτείνονται, προκειμένου να παρθεί μια απόφαση και ο κίνδυνος να καθίσταται περισσότερο αποδεκτός, είναι η εξής (Hunter and Fewtrell, 2001):

1. Έρχονται σε επαφή, μια ομάδα ειδικών, αν είναι δυνατόν από πολλούς επαγγελματικούς και επιστημονικούς χώρους, με διαφορετικές ικανότητες και ειδικότητες. Ανάμεσά τους και πρόσωπα με εμπειρία στη δημόσια υγεία.
2. Συμφωνούνται οι στόχοι της ομάδας και οι περιορισμοί υπό της οποίους θα πρέπει να εργαστούν.
3. Εκτιμάται η ισχύς των στοιχείων που διαθέτουν για τη συσχέτιση ενός περιβαλλοντικού παράγοντα με μια ασθένεια. Καθιστούν σαφή κάθε πιθανή αβεβαιότητα στα δεδομένα και στις παραδοχές που έχουν γίνει.
4. Ποσοτικοποιούνται οι επιπτώσεις των μολύνσεων στην υγεία της υπό μελέτη κοινωνίας, με λεπτομερείς πάλι αναφορές των αβεβαιοτήτων και των παραδοχών που έχουν γίνει. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για τις ευπαθείς ομάδες.
5. Προσομοιώνονται οι επιπτώσεις κάθε προτεινόμενης αλλαγής στις υφιστάμενες συνθήκες της κοινωνίας, λαμβάνοντας υπόψιν τις ευρύτερες υγειονομικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.
6. Εξετάζεται αν οι πόροι που απαιτούνται για να εφαρμοστούν οι προτεινόμενες αλλαγές αξίζει να διατεθούν για τη βελτίωση της δημόσιας υγείας (ανάλυση χρησιμότητας κόστους). Αν ναι, εξετάζεται αν αυτοί οι πόροι χρησιμοποιούταν για άλλο υγειονομικό σκοπό θα ήταν περισσότερο ωφέλιμοι (ανάλυση κόστους ευκαιρίας). Λεπτομερείς και πάλι αναφορές των παραδοχών και αβεβαιοτήτων και εντοπισμός των επιπτώσεων στις ευπαθείς ομάδες.
7. Αποκαλύπτονται με λεπτομέρεια τα στάδια της διαδικασίας, που προτείνεται να πραγματοποιηθεί, ώστε να ελεγχθεί σε ευρύ επίπεδο από όλους της ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένων των ομάδων πίεσης, κάθε άλλης ομάδας ειδικών και της. Αναζητούνται ιδιαιτέρως απόψεις από τον ευρύτερο τομέα της δημόσιας υγείας.

8. Τροποποιούνται οι προτάσεις υπό το φως αυτής της διαδικασίας διαβούλευσης.

Ασφαλώς, υπάρχουν δυσκολίες και διάφορα ζητήματα όσον αφορά και τη διαδικασία αυτή, όμως γίνεται εμφανές ότι υπάρχει ένα πλαίσιο με το οποίο διασφαλίζεται μία μεγαλύτερη αποδοχή του κινδύνου, αρκεί τα αρμόδια πρόσωπα και ομάδες να λάβουν υπόψη τους όλες τις κοινωνικές ομάδες, όπως επίσης να αποδεχτούν και να αντιμετωπίσουν τα πεδία αβεβαιότητας στις πληροφορίες τους και στις δικές τους προκαταλήψεις.

Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι το αποδεκτό επίπεδο κινδύνου σε συγκεκριμένες συνθήκες, είναι ένα ζήτημα, κατά το οποίο η τοπική κοινωνία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο. Ο αποδεκτός κίνδυνος δηλαδή ορίζεται και από τοπικά χαρακτηριστικά, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και η τελική κρίση, αν τελικά το όφελος που αποκτάται από την υιοθέτηση μιας εφαρμογής δικαιολογεί το κόστος αυτής, επαφίεται στην εκάστοτε κοινωνία.

Ο αποδεκτός κίνδυνος μπορεί να εκφράζεται και σε μονάδες όπως DALY, με τη συνοδεία επεξηγήσεων. Έτσι θα μπορούν και οι μη ειδικοί να ερμηνεύουν τη σπουδαιότητα της κατάστασης, αλλά με την εφαρμογή κοινών μονάδων γίνεται πιο εύκολη η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων μιας διαδικασίας για την εξέλιξη μιας άλλης (π.χ. για τον καθορισμό υγειονομικών στόχων) (Bartram et al., 2001).

3.3.4 Υγειονομικοί Στόχοι (Health targets)

Ο καθορισμός υγειονομικών στόχων βασίζεται στο αποτέλεσμα της διαδικασίας της εκτίμησης κινδύνου και σε πληροφορίες που αφορούν τα επίπεδα αποδεκτού κινδύνου. Κατά τη διαδικασία αυτή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι όποιες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Οι υγειονομικοί στόχοι θα πρέπει να είναι ρεαλιστικοί, σχετικοί με τις τοπικές συνθήκες και ανάλογοι με τους πόρους που διατίθενται για τις απαιτούμενες μεθόδους προστασίας. Θεσπίζονται με σκοπό να βελτιώσουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τη δημόσια υγεία και να υποστηρίξουν την ορθολογική επιλογή των μηχανισμών διασφάλισης της υγείας, των παρεμβάσεων και των μέτρων ελέγχου που σχετίζονται κυρίως με την επεξεργασία του γκρι νερού, τον έλεγχο της ανθρώπινης έκθεσης και την ασφαλή καθημερινή χρήση και πρακτική. Οι υγειονομικοί στόχοι μπορεί να βασίζονται (WHO, 2006):

- Σε επιδημιολογικά χαρακτηριστικά.
- Σε προβλέψεις της εκτίμησης κινδύνου.
- Σε οδηγίες – κατευθυντήριες γραμμές (guidelines) διεθνών οργανισμών.
- Στην απόδοση ενός προς επιλογήν συστήματος, ώστε να είναι ρεαλιστικοί.

Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν πλεονεκτήματα και αδυναμίες. Τα επιδημιολογικά χαρακτηριστικά απαιτούν την ύπαρξη ενός ανεπτυγμένου θεσμικού συστήματος, το οποίο θα μελετά το σύστημα. Η εκτίμηση του κινδύνου ενδέχεται να υπερεκτιμά της κινδύνους εξαιτίας άστατων παραγόντων όπως η ανθρώπινη συμπεριφορά και η συχνότητα εκθέσεως. Οι κατευθυντήριες γραμμές συχνά περιορίζουν τη διατύπωση κινδύνων για ένα ευρύ φάσμα οργανισμών. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλα συστήματα. Η διαδικασία καθορισμού στόχων βάσει της απόδοσης βασίζεται σε οργανισμούς-δείκτες κι έτσι παρακάμπτονται κάποιοι κίνδυνοι.

Για την τελευταία περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνουμε ένα επαρκές φάσμα παθογόνων, αναλογιζόμενοι την αντοχή τους σε δυσμενείς συνθήκες επεξεργασίας και περιβαλλοντικές συνθήκες. Θα πρέπει ακόμα να διασφαλίζεται ότι αυτοί οι στόχοι καλύπτουν και της περισσότερο ευάλωτες ομάδες μικροβίων, αλλά και υπό διαφορετικές συνθήκες. Η εκτίμηση της απόδοσης δεν είναι απαραίτητο να γίνεται πειραματικά ή/και επιτόπου, αλλά μπορεί να προσεγγισθεί με διεθνείς αξιολογήσεις, οι οποίες της θα λαμβάνουν και της τοπικές επικρατούσες συνθήκες υπόψιν. Είναι ωστόσο επιθυμητό οι αξιολογήσεις αυτές να γίνονται από εθνικές, είτε περιφερειακές αρχές και ιδρύματα. Στον Πίνακα 3-1 σκιαγραφούνται μερικά από τα οφέλη του καθορισμού υγειονομικών στόχων (*Bartram et al., 2001*).

Πίνακας 3-1 Οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση υγειονομικών στόχων (Πηγή: *Bartram et al., 2001*).

Στάδιο Ανάπτυξης Στόχων	Όφελος
Διατύπωση	<p>Προσφέρει μια εικόνα για την υγεία του πληθυσμού. Αποκαλύπτει κενά στην υπάρχουσα γνώση.</p> <p>Προσφέρει μια εικόνα για τις συνέπειες εναλλακτικών στρατηγικών.</p> <p>Υποστηρίζει τη διαδικασία καθορισμού προτεραιοτήτων.</p> <p>Αυξάνει τη διαφάνεια της εφαρμοζόμενης πολιτικής για την υγεία.</p> <p>Εξασφαλίζει τη συνοχή μεταξύ των διαφόρων προγραμμάτων για την υγεία.</p> <p>Δίνει αφορμή για διαβούλευση.</p>
Εφαρμογή	<p>Εμπνέει και παρακινεί διάφορους εμπλεκόμενους ή ενδιαφερόμενους να αναλάβουν δράση.</p> <p>Βελτιώνει το βαθμό δέσμευσης.</p> <p>Θέτει βάσεις για λογοδοσία.</p> <p>Καθοδηγεί την κατανομή των πόρων.</p>
Παρακολούθηση και Αξιολόγηση	<p>Ορίζει συγκεκριμένα ορόσημα για την αξιολόγηση και για αναπροσαρμογές.</p> <p>Παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της εφικτότητας των στόχων.</p> <p>Παρέχει τη δυνατότητα ανάληψης δράσης προκειμένου να διορθωθούν κάποιες παρεκκλίσεις.</p> <p>Αποκαλύπτει τις ανακολουθίες και την ανάγκη ενημέρωσης με νέα δεδομένα.</p>

Ο καθορισμός των υγειονομικών στόχων εστιάζεται συνήθως στα όρια έκθεσης σε ορισμένα παθογόνα-δείκτες. Αργότερα, με βάση αυτούς τους στόχους θα γίνει ο έλεγχος και η επαναξιολόγηση του κινδύνου για την υγεία. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η έκφραση των υγειονομικών στόχων με όρους έκθεσης του ανθρώπου σε παθογόνα δεν σημαίνει ότι τα παθογόνα αυτά πρέπει να καταμετρούνται με άμεσο τρόπο, ούτε ότι οι καταμετρήσεις αυτές οφείλουν και δύναται να γίνονται τόσο αναλυτικά και με ακρίβεια όπως συμβαίνει σε

εργαστήρια, ούτε ότι η μέτρηση των παθογόνων κάτω από το όριο που έχει τεθεί εξασφαλίζει απαραίτητως την ασφάλεια. Τα παθογόνα-δείκτες μελετώνται ως υποκατάστατα για άλλα παθογόνα, αλλά δεν είναι σίγουρο ότι εμφανίζονται πάντοτε στο περιβάλλον μαζί με άλλα επικίνδυνα παθογόνα.

Οι πληροφορίες που διαθέτουμε για την παρουσία παθογόνων στο νερό, σε συνδυασμό με πληροφορίες που αφορούν την αποτελεσματικότητα συγκεκριμένων διαδικασιών αντιμετώπισης των παθογόνων και έχοντας υπόψιν της επιθυμητούς και καθορισμένους στόχους μας βοηθούν στη διαδικασία της διαχείρισης του κινδύνου.

3.3.5 Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management)

Το έργο της διαχείρισης κινδύνου περιλαμβάνει την αξιολόγηση της αναγκαιότητας κάθε πιθανής δράσης και ενσωματώνει σημαντικές πολιτικές και επιστημονικές σκέψεις και προβληματισμούς. Η κατανόηση των κατάλληλων και αναγκαίων επιπέδων δράσης για τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τους μικροοργανισμούς είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο (*Haas and Eisenberg, 2001*). Η διαδικασία διαχείρισης κινδύνου μπορεί να αντλεί πληροφορίες από όλες τις επιμέρους διαδικασίες του κλασικού πλαισίου διαχείρισης κι εκτίμησης κινδύνου, αλλά κυρίως από τον εντοπισμό του τρόπου και την εκτίμηση του επιπέδου έκθεσης, όπου υπολογίζεται κατά πόσον ένα άτομο εκτίθεται σε μια ουσία/μικροοργανισμό. Κάθε προσπάθεια διαχείρισης του κινδύνου σε ένα σύστημα, ξεκινάει από το ερώτημα: Ποια είναι η προέλευση του κινδύνου στο συγκεκριμένο σύστημα (*Deere et al., 2001*); Στην πιο απλή της μορφή, η διαχείριση κινδύνου, για μολυσματικές ασθένειες προερχόμενες από τη χρήση του νερού, περιλαμβάνει:

- Αναγνώριση πιθανών πηγών μολυσματικών στοιχείων.
- Την υιοθέτηση και διαχείριση φραγμών, οι οποίοι αποτρέπουν τα μολυσματικά στοιχεία να φτάσουν στους τελικούς χρήστες του νερού.

Σε ένα ιδανικό σύστημα:

- Όλα τα πιθανά σενάρια, κατά τα οποία οι μολυσματικές ουσίες μπορεί να εισέλθουν στο σύστημα, θα ήταν κατανοητά.
- Οι φραγμοί θα ήταν αποτελεσματικοί στην εξάλειψη του κινδύνου από την πηγή του και όχι απλώς στη μείωση του κινδύνου.
- Κάθε αστοχία στη λειτουργία των συστημάτων, τα οποία αποτελούν το φραγμό για τη μετάδοση των μολυσματικών παραγόντων, θα ανιχνευόταν και θα λαμβάνονταν διορθωτικές ενέργειες.
- Τα άτομα τα οποία έχουν την αρμοδιότητα της σωστής διαχείρισης του κινδύνου θα είχαν αυτό ως πρωταρχικό τους συμφέρον και θα ενεργούσαν καταλλήλως.

Στην πραγματικότητα όμως:

- Η επισήμανση των πηγών των μολυσματικών ουσιών και των φυσικών εμποδίων είναι πολύπλοκη διαδικασία και ποτέ δεν είναι απολύτως κατανοητή.
- Οι φραγμοί σπανίως εξαλείφουν τον κίνδυνο. Λειτουργούν πρωταρχικώς με σκοπό τη μείωσή του.

- Οι ελάχιστοι διαθέσιμοι πόροι περιορίζουν τον έλεγχο των μολυσματικών στοιχείων, είτε στην πηγή, είτε μέσω φραγμών.
- Τα πρόσωπα τα οποία έχουν την αρμοδιότητα της διαχείρισης του κινδύνου έχουν κάποιες φορές συγκρουόμενα συμφέροντα, οπότε οι κοινωνίες-χρήστες δεν μπορούν να τα εμπιστεύονται απολύτως.

Αυτή η πολυπλοκότητα και η σχολαστικότητα που απαιτείται, δυσχεραίνει τον οποιονδήποτε στην πλήρη κατανόηση και διαχείριση των μολυσματικών κινδύνων που προέρχονται από το νερό. Επίσης, μια απλοποιημένη προσέγγιση πιθανότατα θα είναι αναποτελεσματική. Στην πραγματικότητα οι διακανονισμοί γίνονται πολυσύνθετα. Πολλές διαφορετικές προσωπικότητες και πολλοί ενδιαφερόμενοι χρειάζεται να εμπλακούν τόσο για τον εντοπισμό των μολυσματικών πηγών όσο και για τη διαχείριση των φραγμών που τίθενται, για να παρεμποδιστούν οι μολυσματικοί παράγοντες. Αυτή η πολυπλοκότητα καθιστά αναγκαία τη συστημική προσέγγιση της διαχείρισης του κινδύνου (Deere et al., 2001).

3.3.5.1 Μια Συστημική Προσέγγιση της Διαχείρισης του Κινδύνου

Παρακάτω παρουσιάζεται μια σειρά βημάτων, τα οποία συνθέτουν ένα σχέδιο διαχείρισης του κινδύνου, σχετικά με τη χρήση του νερού. Πρόκειται για μια συστημική προσέγγιση, η ορολογία της οποίας είναι εναρμονισμένη με αυτή που χρησιμοποιείται στην «Ανάλυση Κινδύνου και Κρίσιμα Σημεία Ελέγχου» (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP). Η βηματική αυτή ακολουθία εστιάζει στον έλεγχο του κινδύνου όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην πηγή. Τα βήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Η σύνθεση της ομάδας, δηλαδή των προσώπων που θα συνεργαστούν για τη διεκπεραίωση του έργου και η συγκέντρωση των πόρων που θα δαπανηθούν.
- Η αποτύπωση των διαδρομών της μόλυνσης και των μεθόδων αντιμετώπισης με διαγράμματα ροής. Παράλληλα, αυτά τα διαγράμματα ροής χρειάζεται να ελέγχονται και να επαληθεύονται για την ορθότητά τους.
- Η περιγραφή της ποιότητας του νερού και της χρήσεώς του. Η περιγραφή της ποιότητας έχει ως αντικείμενο τον εντοπισμό των κυριότερων σχετιζόμενων μολυσματικών στοιχείων και στον υπολογισμό των συγκεντρώσεών τους, κυρίως στο σημείο όπου εκτίθεται ο χρήστης. Είναι σημαντικό οι εκτιμώμενες πιθανές χρήσεις του νερού από τα μέλη της κοινωνίας να είναι κοντά στην πραγματικότητα της καθημερινότητάς των.
- Ακριβέστερος εντοπισμός των επικίνδυνων στοιχείων, των πηγών τους, των μολυσματικών διαδρομών και εκτίμηση του κινδύνου για κάθε ένα. Αξιολόγηση της επικινδυνότητας και ιεράρχηση προτεραιοτήτων.
- Αποτύπωση Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου. Σημεία ελέγχου (Control Points (CP)) είναι οι φραγμοί και τα προληπτικά μέτρα, που αποτρέπουν τη μετάδοση των μολυσματικών στοιχείων, εξαλείφοντάς τα, είτε απλώς μειώνοντάς τα, κατά την πορεία τους προς τους τελικούς χρήστες. Μερικά από αυτά μπορεί να επισημανθούν ως πιο σημαντικά και η αποτελεσματικότητά τους να είναι απαραίτητη για την ασφαλή χρήση του νερού. Τα σημεία αυτά χαρακτηρίζονται Κρίσιμα Σημεία Ελέγχου (Critical Control Points (CCP)).

Συνήθως προτιμάται ο μικροβιολογικός κίνδυνος να αντιμετωπίζεται στην πηγή της μόλυνσης, όπου και προσπαθούμε να θέσουμε κάποια σημεία ελέγχου. Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της λογικής είναι τα εξής:

- Η αποφυγή της ενίσχυσης των μικροβιακών συγκεντρώσεων η οποία συντελείται με αυξανόμενους ρυθμούς μέχρι να φτάσει το νερό σε ένα σύστημα επεξεργασίας.
 - Προσφέρεται πολλαπλή προστασία. Η ασφάλεια του συστήματος δεν θα εξαρτάται από ένα μόνο φραγμό, όπως είναι μια εγκατάσταση επεξεργασίας, όπου σε περίπτωση αστοχίας ενδεχομένως να προκύψει μεγάλη έκθεση των χρηστών του νερού.
 - Ο ρυπαίνων πληρώνει περισσότερο από ό,τι θα πλήρωνε, στην περίπτωση που το κόστος των σημείων ελέγχου μετατίθεται για τα επόμενα στάδια της πορείας του νερού. Αυτό είναι και πιο δίκαιο, αφού διαφορετικά ολόκληρο το κόστος το επωμίζεται μόνο ο τελικός χρήστης. Παράλληλα όμως, πολλές φορές αυτή είναι και η οικονομικότερη λύση.
- Θεσπίζονται όρια, ώστε οι ενέργειες που γίνονται να προσεγγίζουν κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές. Αυτές οι προδιαγραφές μπορεί να είναι μετρήσιμες φυσικές ιδιότητες, είτε παρατηρήσιμες ιδιότητες. Αυτά τα όρια λαμβάνονται έτσι ώστε να ελέγχεται η πιθανή απειλή και επιλέγονται ώστε να λειτουργούν αντιπροσωπευτικά. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, διότι την ίδια την πιθανή απειλή πολλές φορές δεν μπορούμε να τη μετρήσουμε και να αντλήσουμε άμεσα αξιόπιστα συμπεράσματα.

Τα όρια συνήθως ομαδοποιούνται σε δύο επίπεδα. Τα λειτουργικά όρια, τα οποία λειτουργούν περισσότερο προειδοποιητικά. Τα κρίσιμα όρια, όπου απαιτείται άμεση και επείγουσα δράση, ώστε η ποιότητα και η ασφάλεια να παραμείνουν σε αποδεκτό επίπεδο.

- Παρακολούθηση και διορθωτικές ενέργειες. Η παρακολούθηση περιλαμβάνει την ανίχνευση πιθανών αστοχιών και υπερβάσεων των λειτουργικών και των κρίσιμων ορίων. Αναλόγως της παρατηρούμενης παρέκκλισης, γίνονται και οι κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες για την επαναφορά στην επιθυμητή κατάσταση. Ιδεωδώς, οι ενέργειες αυτές πρέπει να έχουν προβλεφθεί, να έχουν προκαθοριστεί και να ελέγχονται για την αποτελεσματικότητά της.
- Τήρηση αρχείων, επικύρωση και επαλήθευση. Η καταγραφή των ενεργειών παρακολούθησης και των γεγονότων αποτελεί μια πολύτιμη βάση για μελλοντική αξιοποίηση, είτε για χρήση από άλλους. Η διαδικασία αυτή παρέχει πολύτιμες πληροφορίες με τις οποίες γίνεται η επικύρωση των μεθόδων και η επαλήθευση των υπολογισμών. Η συγκέντρωση, η σύνθεση και η διάδοση των πληροφοριών αυτών θα μπορούσε να αποτελεί ένα σημαντικό ρόλο των σχετικών παγκόσμιων οργανισμών (όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) (*Deere et al., 2001*).

3.3.5.2 Διοίκηση Ανθρώπινου Δυναμικού

Η ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού σχεδίου, το οποίο περιγράφει τις απαιτούμενες ενέργειες σύμφωνα με τα προαναφερθέντα βήματα, αποτελεί το πρώτο μέρος στη διαχείριση του κινδύνου. Το δεύτερο μέρος είναι η εφαρμογή στην πράξη και απαιτείται ένα πρόγραμμα υποστήριξης για την ορθή λειτουργία της εφαρμογής.

Τα αρμόδια πρόσωπα πρέπει να πραγματοποιήσουν τις διαδικασίες για τη διαχείριση του κινδύνου της έχει προβλεφθεί. Η επίτευξη αυτή προϋποθέτει την έξοδο από τη σφαίρα των «σκληρών επιστημών» και τη θεωρία HACCP, αλλά καθιστά αναγκαία την είσοδο στο χώρο των συστημάτων διαχείρισης ποιότητας. Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται για να υπάρχει έλεγχος των ανθρώπων και των διαδικασιών με σκοπό τη διασφάλιση του επιθυμητού αποτελέσματος. Κάποια βασικά στοιχεία ενός προγράμματος υποστήριξης της διαχείρισης ποιότητας είναι τα παρακάτω (Deere et al., 2001):

- Ισχυρή δέσμευση σε όλα τα οργανωτικά επίπεδα.
- Σωστή εφαρμογή στις επισκευές, στη συντήρηση και στη λειτουργία, της περιγράφεται στα πρότυπα λειτουργίας.
- Συνεχής εκπαίδευση και κατάρτιση των χρηστών σε σωστές εφαρμογές.
- Ιχνηλασιμότητα προϊόντων και πρώτων υλών.
- Έλεγχος και χρήση βασικών εγγράφων, λιστών ελέγχου και αρχείων δεδομένων.
- Η επικράτηση συμμορφωτικής νοοτροπίας και αυστηρού ελέγχου, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι διαδικασίες ακολουθούνται.

3.3.5.3 Γενικά για τη Διαχείριση Κινδύνου

Τα πρότυπα πλαίσια διαχείρισης μπορούν να γενικευτούν και να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους τομείς. Συμπληρωματικά μέτρα πέραν της χρήσης μόνο των ορίων για το τελικό προϊόν μπορούν να αποτελέσουν ισχυρό εργαλείο για την προστασία της υγείας. Η ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης του νερού συνήθως λειτουργεί αποδοτικά και αποδεικνύεται πολύτιμη, εκεί όπου το κόστος ελέγχου του νερού αποτελεί εμπόδιο για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων.

3.3.6 Κατάσταση Δημόσιας Υγείας (Public Health Status)

Η εξέταση της κατάστασης της δημόσιας υγείας αποτελεί το τελευταίο στάδιο πριν την επανέναρχη της διαδικασίας του πλαισίου εκτίμησης και διαχείρισης του μικροβιολογικού κινδύνου. Εδώ γίνεται προσπάθεια εκτίμησης του «Γενικού Φορτίου Νόσου» (Global Burden of Disease, GBD), το οποίο μπορεί να αφορά μια χώρα, ή μια περιοχή, για να εντοπιστούν και γεωγραφικά οι ιδιαιτερότητες και οι τάσεις που επικρατούν, για θέματα σχετικά με την υγεία. Η διαδικασία αυτή τροφοδοτεί με πληροφορίες τους διαμορφωτές πολιτικών στρατηγικών αφού τους βοηθάει να ιεραρχούν τις προτεραιότητες (Prüss and Havelaar, 2001).

Διάφορες προσεγγίσεις για την αξιόπιστη εκτίμηση του φορτίου νόσων αναπτύσσονται, παρόλη τη δυσκολία σύνδεσης των νόσων με συγκεκριμένες μορφές εκθέσεως, που σχετίζονται με τη χρήση νερού. Στην περίπτωση που αξιολογηθούν πράγματι ως αξιόπιστες, οι μέθοδοι αυτές είναι πολύ χρήσιμες στη διαδικασία εξέτασης της κατάστασης της δημόσιας υγείας, καθώς επιτρέπουν την παρακολούθηση των αλλαγών που επιτελούνται εξαιτίας των ενεργειών που έχουν προηγηθεί. Σήμερα πάντως οι υπάρχουσες προσεγγίσεις και η ικανότητα επιτήρησης, ανίχνευσης και έρευνας των μεταβολών στη δημόσια υγεία κρίνονται γενικώς ως ανεπαρκείς.

Δεδομένου του ευρέος φάσματος των πιθανών μολύνσεων, του φάσματος της δεινότητας των άμεσων συνεπειών για την υγεία και της ύπαρξης μερικές φορές επιπτώσεων που

καθυστερούν να εμφανιστούν, αναγκαία ήταν η υιοθέτηση μιας κοινής μονάδας που θα περιγράφει τις οξείες, τις καθυστερημένες και τις χρόνιες επιπτώσεις των μολύνσεων. Μία τέτοια μονάδα είναι η μονάδα «DALY» (Disability Adjusted Life Years), η οποία αποτελεί βασική μονάδα για το Γενικό Φορτίο Νόσων (GBD). Περιλαμβάνει από κοινού τη νόσηση και τη θνησιμότητα και διευκολύνει τη διαμόρφωση πολιτικών επιλογών και τη λήψη αποφάσεων (*Bartram et al., 2001*).

Ουσιαστικά, με τη μονάδα αυτή συγκρίνουμε την παρούσα κατάσταση με μια άλλη κατάσταση-στόχο, για παράδειγμα μια κατάσταση ιδανικών συνθηκών υγείας. Προφανώς, γνωρίζουμε ότι δεν οδηγούν όλες οι νόσοι σε πρόωρο θάνατο, όμως μερικές φορές έχουν σοβαρές συνέπειες στην υγεία. Συνδυάζονται λοιπόν τα χαμένα χρόνια ζωής (Years of Life Lost) από πρόωρο θάνατο με τα χρόνια ζωής με αναπηρία (Years Lived with a Disability), αφού τροποποιηθούν με βαρυτικούς συντελεστές (*Prüss and Havelaar, 2001*). Σε πιο ελεύθερη απόδοση της μονάδας «DALY», θα λέγαμε ότι εκφράζει τα σταθμισμένα έτη υγιούς ζωής που έχουν απολεσθεί, εξαιτίας κάποιου μολυσματικού παράγοντα.

$$DALY = YLL + YLD$$

Με τη μονάδα DALY μπορούμε να περιγράψουμε τις επιπτώσεις ενός μολυσματικού παράγοντα και να τις συγκρίνουμε με τις επιπτώσεις άλλων παραγόντων, ή άλλων καταστάσεων, δίνοντας τη δυνατότητα ενημέρωσης και προς τις άλλες διαδικασίες του πλαισίου εκτίμησης και διαχείρισης κινδύνου. Επίσης, μπορούμε να αξιολογήσουμε τις συγκρουόμενες συνέπειες ενεργειών όπως για παράδειγμα η απολύμανση του νερού, κατά την οποία μειώνεται μεν ο μολυσματικός κίνδυνος, παράγονται δε τοξικά ή και καρκινογόνα υποπροϊόντα. Με τη χρήση της μονάδας DALY διευκολύνεται η λήψη απόφασης και για άλλες ανάλογες περιπτώσεις.

Στη διαδικασία εξέτασης της κατάστασης της δημόσιας υγείας ελέγχεται αν οι στόχοι που τέθηκαν και τα μέτρα που λήφθηκαν είχαν τα επιθυμητά αποτελέσματα στον επιθυμητό χρόνο. Στις πρώτες εφαρμογές ίσως οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι οι στόχοι – είτε που αφορούν την ποιότητα του νερού είτε άλλοι διαχειριστικοί στόχοι – δεν αποφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Μπορεί και αντιστρόφως, να επέλθει ένα καλύτερο αποτέλεσμα από το αναμενόμενο. Μπορεί ακόμα βεβαίως να διαπιστωθεί ότι στο κομμάτι της διαχείρισης και της εφαρμογής πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή ώστε τα μέτρα να αποφέρουν τις επιθυμητές αλλαγές.

Χωρίς τη λεπτομερή αντιμετώπιση των παραπάνω θεμάτων είναι αδύνατη η διαπίστωση της αποτελεσματικότητας ή μη των διαδικασιών που εφαρμόστηκαν. Μια ενδεχόμενη αποτυχία στην επίτευξη των στόχων στη δημόσια υγεία στα πρώτα στάδια εφαρμογής δεν θα πρέπει να εκληφθεί ως αδυναμία της προσέγγισης, αλλά ως μέρος της διαδικασίας. Θα πρέπει να θεωρηθεί ως εμπειρία και πηγή πληροφόρησης, που θα ληφθεί υπόψιν στα επόμενα στάδια της εφαρμογής, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων (*Bartram et al., 2001*).

3.4 Ανακεφαλαίωση

Για τη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας, κύριο μέλημα κατά την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού είναι η απομάκρυνση του πιθανού κινδύνου. Στο νερό επικίνδυνα μπορεί να

είναι τα χημικά του στοιχεία, αλλά ξεχωριστή κατηγορία κινδύνου συνιστούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα πλαίσιο εκτίμησης και διαχείρισης των χημικών και μικροβιολογικών κινδύνων. Οι διαδικασίες που συνιστούν το πλαίσιο αυτό εναλλάσσονται διαδοχικά, ή λειτουργούν παράλληλα, αλλά και αλληλεπιδρούν. Μία από αυτές είναι η εκτίμηση του κινδύνου, όπου σε συνδυασμό με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών διεργασιών, εντοπίζονται τα βασικά στοιχεία κινδύνου (παθογόνα, ουσίες), εκτιμώνται τα επίπεδα εκθέσεως σε αυτά και με τη βοήθεια των αναλύσεων δόσης-απόκρισης γίνεται μια εκτίμηση-χαρακτηρισμός του κινδύνου. Μάλιστα δίνεται κι ένα πλαίσιο αξιολόγησης της ποιότητας της εκτιμήσεως αυτής.

Άλλη διαδικασία που εντάσσεται στο πλαίσιο αυτό είναι η εκτίμηση του αποδεκτού κινδύνου. Ένας κίνδυνος μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτός όταν είναι μικρότερος από έναν ήδη αποδεκτό κίνδυνο, όταν το κόστος για τη μείωσή του υπερβαίνει το κόστος αντιμετώπισης των προβλημάτων που υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθούν, όταν το κόστος για τη μείωσή του είναι προτιμότερο να δοθεί αλλού, ή όταν υποστηρίζεται ότι είναι αποδεκτός από ειδικούς και ανθρώπους προς τους οποίους υπάρχει εμπιστοσύνη.

Έπειτα, ακολουθεί η θέσπιση υγειονομικών ορίων-στόχων και η διαχείριση των ενεργειών προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί. Η διαχείριση κινδύνου περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την αποτύπωση των κρίσιμων και των λειτουργικών σημείων ελέγχου, τη λήψη προληπτικών μέτρων, την παρακολούθηση-έλεγχο των αποτελεσμάτων, την αξιολόγηση αυτών, τη λήψη διορθωτικών μέτρων και την τήρηση αρχείων.

Η επόμενη διαδικασία, πριν επανεκκινηθεί ο κύκλος των διαδικασιών του πλαισίου, είναι η αξιολόγηση της κατάστασης της δημόσιας υγείας. Ένα μέγεθος για να πραγματοποιηθεί αυτού του είδους η αξιολόγηση είναι το γενικό φορτίο νόσου GDB (Global Burden of Disease), ενώ μία μονάδα που χρησιμοποιείται είναι η μονάδα DALY (Disability Adjusted Life Years).

4

Χαρακτηριστικά Γκρι Νερού

Τα χαρακτηριστικά του γκρι νερού εξαρτώνται: α) Από την ποιότητα του νερού της ύδρευσης, β) από τον τύπο και την κατάσταση του δικτύου διανομής, τόσο του δικτύου ύδρευσης όσο και του δικτύου επαναδιάθεσης, και γ) από τις δραστηριότητες εντός του νοικοκυριού, από τις οποίες προέρχεται το γκρι νερό.

Η σύσταση του νερού διαφέρει αναλόγως την πηγή από όπου προέρχεται [μπάνιο, πλυσταριό (πλύσιμο ρούχων), κουζίνα], αλλά διαφέρει αναλόγως και του τρόπου ζωής των κατοίκων, των συνηθειών, των εγκαταστάσεων και της χρήσης χημικών προϊόντων. Σε γενικές γραμμές, το γκρι νερό περιέχει χαμηλές συγκεντρώσεις (συγκριτικά με τα κοινά λύματα) σε διάφορα στοιχεία όπως το άζωτο και σε παθογόνα στοιχεία, τα οποία παθογόνα συνιστούν κίνδυνο για την υγεία.

Η διαχείριση του παραγόμενου γκρι νερού είναι επίσης σημαντικός παράγοντας, αφού για παράδειγμα η επεξεργασία ή μη, ο χρόνος αποθήκευσης του γκρι νερού, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό κάποια χαρακτηριστικά του (*Eriksson et al., 2001*). Εξαιτίας των σχετικά χαμηλών επιπέδων συγκέντρωσης παθογόνων μικροοργανισμών και αζώτου η επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού είναι όλο και περισσότερο ελκυστική ως πρακτική. Γενικώς, όλοι οι τύποι γκρι νερού θεωρείται ότι έχουν καλή βιοδιασπασιμότητα (*Li et al., 2009*). Αναλόγως τα χαρακτηριστικά που διαθέτει το γκρι νερό, επιλέγεται και η κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας, αφού συνδυαστεί με την επιθυμητή χρήση για την οποία προορίζεται, με συνεκτίμηση και του κινδύνου για την υγεία (*Eriksson et al., 2001*).

4.1 Φυσικά και Χημικά Χαρακτηριστικά

(Το περιεχόμενο της παραγράφου αυτής αντλείται κατά το μεγαλύτερο μέρος από τη δημοσίευση των *Eriksson et al., 2001*).

4.1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

Κάποιες φυσικές παράμετροι που μας ενδιαφέρουν είναι η θερμοκρασία, το χρώμα, η θολότητα και το περιεχόμενο των αιωρούμενων στερεών. Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η θερμοκρασία του γκρι νερού κυμαίνεται στους 18 – 38 °C. Οι υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας οφείλονται στο ζεστό νερό που χρησιμοποιείται για την προσωπική υγιεινή (*Eriksson et al., 2001*).

Σωματίδια από τρόφιμα από το νεροχύτη της κουζίνας, τρίχες και ίνες από το πλύσιμο ρούχων, είναι παραδείγματα στερεών που μπορούν να βρεθούν στο γκρι νερό. Η μέτρηση της θολότητας και των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να συνεισφέρει στην εκτίμηση του κινδύνου έκφραξης των σωληνώσεων είτε των φίλτρων καθαρισμού. Η πιθανότητα αυτή δεν πρέπει να αγνοηθεί, παρά το γεγονός ότι το ποσοστό των στερεών είναι πολύ μικρότερο στο γκρι νερό από ό,τι στα μεικτά λύματα. Η συνύπαρξη κολλοειδών και των επιφανειοδραστικών ουσιών που περιέχουν τα απορρυπαντικά, έχει μερικές φορές ως αποτέλεσμα την προσκόλληση των επιφανειοδραστικών ουσιών στα κολλοειδή.

Η θολότητα του γκρι νερού κυμαίνεται 14 - 296 NTU. Αυτές οι τιμές αφορούν το νερό από το πλύσιμο ρούχων, με τις υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν στη φάση του καθαρισμού και για οικογένειες με έντονη δραστηριότητα σε εξωτερικές εργασίες (π.χ. αγροτικές), ενώ οι χαμηλότερες τιμές αντιστοιχούν στη φάση της απόπλυσης (Eriksson et al., 2001).

Οι μετρήσεις που αφορούν τα αιωρούμενα στερεά εμφανίζουν τιμές 17 - 330 mg L⁻¹, όπου οι μεγαλύτερες τιμές προέρχονται από το πλυσταριό και την κουζίνα. Από το πλυσταριό το νερό που απομακρύνεται ενδέχεται να περιέχει άμμο και λάσπη από τα ρούχα και ζεόλιθους από τα απορρυπαντικά. Το νερό της κουζίνας ενδέχεται να περιέχει άμμο και λάσπη από το ξέπλυμα των λαχανικών. Οι τιμές είναι συγκρίσιμες με αυτές των μεικτών λυμάτων όπου η αντίστοιχη συγκέντρωση είναι 120 – 450 mg L⁻¹. Οι τιμές του γκρι νερού για τα ολικά στερεά κυμαίνονται σε μεγάλο εύρος, 113 -2410 mg L⁻¹, με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν στο γκρι νερό από την κουζίνα, τόσο από το νεροχύτη, όσο και από ένα αυτόματο πλυντήριο πιάτων (Eriksson et al., 2001).

4.1.2 Χημικά Χαρακτηριστικά

Για εφαρμογές διάθεσης στο έδαφος, οι συνέπειες στο pH και στη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, από τη διήθηση του γκρι νερού, μπορούν να προσδιοριστούν από τη μέτρηση της αλκαλικότητας, της σκληρότητας και του pH του νερού που διηθείται. Το γκρι νερό του πλυσταριού είναι αλκαλικό και οι τιμές του pH είναι περίπου 8 - 10, ενώ άλλοι τύποι γκρι νερού εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σε γενικό επίπεδο (5 - 8,7). Η τιμή του pH του γκρι νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH και την αλκαλικότητα του νερού της ύδρευσης, ωστόσο η υψηλές τιμές του νερού του πλυσταριού δείχνει ότι η χρήση χημικών προϊόντων έχει σημαντική επίδραση.

Οι μετρήσεις παραδοσιακών παραμέτρων των λυμάτων, όπως είναι το Βιοχημικός Απαιτούμενο Οξυγόνο BOD (Biological Oxygen Demand) και το Χημικός Απαιτούμενο Οξυγόνο COD (Chemical Oxygen Demand), και οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων N, P είναι επίσης πολύ χρήσιμες.

Το γκρι νερό περιέχει τουλάχιστον το 50% της άμεσα αποικοδομήσιμης οργανικής ύλης των μεικτών λυμάτων του νοικοκυριού. Η τιμή των συγκεντρώσεων όμως έχει μεγάλο εύρος και εξαρτάται από τις συνήθειες των μελών του νοικοκυριού. Στις βιομηχανικές χώρες, οι υπερβολικές ποσότητες απορρυπαντικών, συμπεριλαμβανομένων των καθαριστικών σώματος, των σκονών καθαρισμού και άλλων παρόμοιων προϊόντων, αποτελούν σύνηθες φαινόμενο και μαζί με τα λίπη και τα έλαια που χρησιμοποιούνται για το μαγείρεμα του φαγητού είναι υπεύθυνες για την εισαγωγή σημαντικής ποσότητας ζήτησης οξυγόνου BOD. Στα μέρη δε όπου χρησιμοποιείται λάδι για το μαγείρεμα σε μεγάλο βαθμό, το οργανικό περιεχόμενο καθίσταται πολύ υψηλό και μάλλον απαιτεί ειδική μέριμνα κατά το σχεδιασμό συστημάτων επεξεργασίας (WHO, 2006). (Αν τα λίπη και τα έλαια συλλεχθούν ξεχωριστά, μπορούν να μετατραπούν και να αξιοποιηθούν ως βιοντίζελ, μπορούν όμως και να προσδώσουν ποσότητες βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση.)

Οι μετρήσεις BOD και COD μας δίνουν μια εικόνα του κινδύνου εξάντλησης του διαθέσιμου οξυγόνου λόγω της αποδόμησης οργανικού υλικού κατά τη μεταφορά ή κατά την αποθήκευση του γκρι νερού. Η μη ύπαρξη οξυγόνου συνεπάγεται συχνά την παραγωγή υδρόθειου. Το COD του απορριπτόμενου υλικού του μπάνιου είναι 184 – 633 mg L⁻¹ ενώ το

αντίστοιχο BOD είναι 76 - 300 mg L⁻¹. Στο γκρι νερό του πλυσταριού οι τιμές COD και BOD είναι περίπου 725 – 1815 mg L⁻¹ και 48 – 472 mg L⁻¹ αντίστοιχα. Στης κουζίνας το γκρι νερό οι τιμές που βρίσκονται είναι για το COD 26 – 1380 mg L⁻¹ και για το BOD 150 - 530 mg L⁻¹. Αναλόγως λοιπόν τον τύπο του γκρι νερού, που εξαρτάται από την προέλευσή του, μπορεί να επιλεχθούν και διαφορετικοί τύποι επεξεργασίας, αναλόγως και τη μετέπειτα επιθυμούμενη χρήση του.

Στο γκρι νερό γενικού τύπου (μπάνιο, κουζίνα, πλυσταριό) οι τιμές COD είναι 13-ca. 8000 mg L⁻¹ και του BOD συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 90 και 360 mg L⁻¹. Οι τιμές COD και BOD για τα μεικτά-κοινά οικιακά λύματα είναι 210 – 740 mg L⁻¹ και 150 – 530 mg L⁻¹ αντίστοιχα. Το περισσότερο από το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) προέρχεται από τα οικιακά χημικά προϊόντα, όπως τα υγρά πιάτων και τα απορρυπαντικά ρούχων, οπότε το COD του γκρι νερού αναμένεται γενικά να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με το COD των μεικτών λυμάτων (μαύρου νερού) (Eriksson et al., 2001).

Οι ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου (dissolved oxygen) που έχει αναφερθεί (Eriksson et al., 2001) ότι μετρήθηκαν στο γκρι νερό σε δύο διαφορετικές έρευνες, Santala et al. (1998) και Shin et al. (1998) ήταν 2,2 – 5,8 mg L⁻¹ στη μία και 0,4 – 4,6 mg L⁻¹ στην άλλη.

Στη δημοσίευση WHO (2006) αναφέρεται ότι το γκρι νερό συνεισφέρει το 10% είτε λιγότερο της συνολικής ποσότητας αζώτου στο μεικτά λύματα (wastewater ή αλλιώς blackwater) και η συγκέντρωσή του πριν την επεξεργασία είναι 10 mg/L κατά μέγιστο. Οι Eriksson et al. (2001) αναφέρουν ότι η συνολική συγκέντρωση του αζώτου στο γκρι νερό, κυμαίνεται 0,6 - 74 mg L⁻¹, ενώ στα μεικτά λύματα είναι 20 – 80 mg L⁻¹. Μια σημαντική πηγή αζώτου στα μεικτά λύματα, που είναι τα ούρα, δεν βρίσκεται (σε τόσο μεγάλο βαθμό) στο γκρι νερό. Από την κουζίνα προέρχονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου (40 – 74 mg L⁻¹).

Το γκρι νερό συνεισφέρει το 10-30% του συνολικού εισερχόμενου φωσφόρου σε ένα μεικτό-συμβατικό σύστημα αποχέτευσης. Κύρια πηγή φωσφορικών αλάτων στα λύματα είναι τα απορρυπαντικά καθαρισμού, για τις χώρες όπου δεν έχουν απαγορευθεί τα απορρυπαντικά φωσφόρου. Σε περιοχές όπου χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά με φωσφορικά, οι συγκεντρώσεις φωσφόρου στα μεικτά λύματα είναι 6 - 23 mgTot-P L⁻¹, ενώ εκεί όπου χρησιμοποιούνται μη φωσφορούχα απορρυπαντικά οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται 4 – 14 mgTot-P L⁻¹. Αυτό εξηγεί γιατί οι φωσφορικές συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες στο γκρι νερό του πλυσταριού 0,1 - 57 mgTot-P L⁻¹, από ό,τι στο γκρι νερό του μπάνιου 0,1 – 2 mgTot-P L⁻¹ (Eriksson et al., 2001). Στη δημοσίευση WHO (2006) αναφέρεται ότι αν χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά που περιέχουν φωσφορικά άλατα, τότε οι συγκεντρώσεις φωσφορικών στο γκρι νερό κυμαίνονται 3-7 mg/L, ενώ αν χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά χωρίς φωσφορικά άλατα τότε η συγκέντρωση του γκρι νερού σε φωσφορικό άλας είναι περίπου 1mg/L.

Το νερό του πλυσταριού εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα νατρίου σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές. Το νάτριο χρησιμοποιείται ως ιόν αντιθέτου φορτίου σε πλήθος ανιονικών επιφανειοδραστικών που εμπεριέχονται στις απορρυπαντικές σκόνες ρούχων. Ακόμα, χρησιμοποιείται χλωριούχο νάτριο σε εναλλάκτες ιόντων (Eriksson et al., 2001).

Μεταξύ άλλων, ρυπαντικά στοιχεία που πρέπει να ελεγχθούν είναι και τα βαρέα μέταλλα (π.χ. Al, Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn, Ni, Cr) και οι ξενοβιοτικές οργανικές ουσίες (XOCs). Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο γκρι νερό αναμένονται στα ίδια επίπεδα με αυτές των μεικτών λυμάτων, αφού στα κοινά λύματα το μεγαλύτερο μέρος των βαρέων μετάλλων προέρχεται από τις χρήσεις που αντιστοιχούν στο γκρι νερό (WHO, 2006). Παρά ταύτα, οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο γκρι νερό φαίνεται να βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα με εξαίρεση μία δημοσίευση (Christova-Boal et al., 1996), όπου εμφανίστηκαν ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης ψευδαργύρου. Στο νερό του πλυσταριού εμφανίστηκαν χαμηλές τιμές Zn 0,09 – 0,34 mg L⁻¹, όμως στο νερό του μπάνιου 0,2 – 6,3 mg L⁻¹. Μία ενδεχόμενη αιτία των υψηλών τιμών, που βρέθηκαν στα απόνερα του μπάνιου, είναι τα όξινα προϊόντα απολύμανσης, όπως τα δισκία χλωρίου, τα οποία μπορεί να προκαλούν διάβρωση στις υδραυλικές σωληνώσεις με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ψευδαργύρου.

Μια γενική διαπίστωση που μπορεί να γίνει, είναι ότι το γκρι νερό της κουζίνας περιέχει υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων οργανικών υλικών, αιωρούμενων στερεών και αζώτου. Το νερό που προέρχεται από το πλύσιμο των ρούχων παρουσιάζει υψηλά επίπεδα θολότητας και φωσφορικών αλάτων, ενώ το νερό του μπάνιου από ό,τι φαίνεται παρουσιάζει την καλύτερη ποιότητα σε σύγκριση με τους τρεις αυτούς βασικούς τύπους.

Για αναλυτικότερα αποτελέσματα ο αναγνώστης παραπέμπεται στη δημοσίευση Eriksson et al. (2001).

4.1.3 Άλλες έρευνες

Οι Li et al. (2009) δημοσίευσαν ένα συνοπτικό πίνακα (Πίνακας 4-1) με συνήθεις μετρήσεις πάνω σε βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία του γκρι νερού, φυσικά, χημικά, αλλά και μετρήσεις αριθμού κολοβακτηριοειδών (coliforms), για τους βασικούς τύπους γκρι νερού: του γκρι νερού από το μπάνιο, του γκρι νερού από την πλύση των ρούχων, της κουζίνας αλλά και όλων αυτών αναμεμιγμένων. Διαπιστώνεται και πάλι η καλύτερη ποιότητα του νερού του μπάνιου και η χαμηλότερη ποιότητα (με κάποιες επιμέρους εξαιρέσεις) του νερού της κουζίνας.

Στον ίδιο πίνακα, παρουσιάζονται ακόμα κάποιες ενδεικτικές τιμές βασικών χαρακτηριστικών των μεικτών λυμάτων – «μαύρου νερού», που είτε αναφέρονται παραπάνω (Eriksson et al., 2001), είτε αντλούνται από το βιβλίο Ανδρεαδάκης et al. (2003). Είναι εμφανές ότι η ποιότητα του μαύρου νερού είναι χαμηλότερη από την ποιότητα του αναμεμιγμένου με όλους τους τύπους γκρι νερού, όπως είναι και αναμενόμενο. Είναι όμως επίσης εμφανές, ότι το εύρος των τιμών είναι πολύ μεγάλο σε πολλές περιπτώσεις, λόγω των πολλών παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται η ποιότητα κάθε τύπου νερού και αυτό μερικές φορές δυσχεραίνει την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη διατύπωση προβλέψεων κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

Μία άλλη επισκόπηση των χαρακτηριστικών του γκρι νερού, από διάφορες μελέτες ανά τον κόσμο έχει αντληθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2006) και παρατίθεται στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας (Πιν Α-4).

Πίνακας 4-1 Βασικά χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων γκρι και μαύρου νερού
(Πηγή: Li et al. 2009 : Eriksson et al., 2001 : Ανδρεαδάκης κ.α., 2003))

Χαρακτηριστικά Γκρι Νερού και Λυμάτων	Γκρι Νερό				Χαρακτηριστικά Μεικτών Λυμάτων -"Μαύρου Νερού" (Eriksson et al., 2001) (Ανδρεαδάκης et al. 2003)
	Μπάνιο	Πλύση Ρούχων	Κουζίνα	Μεικτό Γκρι νερό (από μπάνιο, πλύση ρούχων και κουζίνα)	
pH	6,4-8,1	7,1-10	5,9-7,4	6,3-8,1	
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS, mg/L)	7-505	68-465	134-1300	25-183	280-460
Θολότητα (Turbidity, NTU)	44-375	50-444	298,0	29-375	
COD (mg/L)	100-633	231-2950	26-2050	100-700	210-740
BOD (mg/L)	50-300	48-472	536-1460	47-466	150-530
TN (mg/L)	3,6-19,4	1,1-40,3	11,4-74	1,7-34,3	48-80
TP (mg/L)	0,11- >48,8	ND- >171	2,9- >74	0,11-22,8	8-23
Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total coliforms CFU/100 mL)	10^{-2} - 4×10^7	$200,5$ - 7×10^5	$>2,4 \times 10^8$	56 - $8,03 \times 10^7$	
Περιττωματικά κολοβακτηριοειδή (Faecal coliforms CFU/100 mL)	0 - $3,4 \times 10^5$	50 - $1,4 \times 10^3$	-	$0,1$ - $1,5 \times 10^8$	1×10^7

4.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί στο Γκρι Νερό, Ανθρώπινη Έκθεση, Επιδημιολογικά Δεδομένα

Στα συστήματα γκρι νερού είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως ιοί, βακτηρίδια, πρωτόζωα και έλμινθες. Αυτά μπορεί να προέρχονται από τις δραστηριότητες πλύσης των ρούχων (πλυσταριό), από το πλύσιμο ωμών λαχανικών και ωμού κρέατος στην κουζίνα, από τις δραστηριότητες προσωπικής υγιεινής, αλλά και από την αύξησή τους εντός του ίδιου του συστήματος. Στα κτίρια, ενδέχεται να αναπτυχθούν δευτερογενή παθογόνα βακτήρια, όπως λεγεωνέλα (*Legionella*), μυκοβακτηρίδια (*mycobacteria*) και *Pseudomonas aeruginosa* (WHO, 2006).

Οι κύριοι όμως κίνδυνοι από το γκρι νερό προέρχονται από κοπρανώδη διασταυρούμενη ρύπανση, δηλαδή από τις μικρές ποσότητες κοπράνων που αποχετεύονται μέσω του γκρι νερού αντί μέσω της τουαλέτας. Επειδή όμως πρόκειται για πολύ μικρότερες ποσότητες, στο γκρι νερό οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι πολύ λιγότεροι από ό,τι είναι στα μεικτά λύματα. Η κοπρανώδης διασταυρούμενη ρύπανση συνήθως πραγματοποιείται σε μικρό βαθμό και σχετίζεται με δραστηριότητες όπως το πλύσιμο των χεριών έπειτα από τη χρήση της τουαλέτας, με το πλύσιμο βρεφών στο μεσοδιάστημα αλλαγής της πάνας ή με το πλύσιμο επαναχρησιμοποιούμενων πανών, η παιδική φροντίδα, ο πρωκτικός καθαρισμός και το ντους.

4.2.1 Βακτηριακοί Δείκτες

Η κοπρανώδης ρύπανση μετράται με τη χρήση κατάλληλων οργανισμών, που χρησιμεύουν ως δείκτες ρύπανσης, όπως τα κολοβακτηριοειδή (ολικά, θερμοανθεκτικά, *Escherichia coli*) και οι εντερόκοκκοι. Στον Πίνακα 4-2 παρουσιάζονται κάποιες τιμές του αριθμού των μικροβιακών δεικτών που βρέθηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία και συντάχθηκαν από τους *Ottosson and Stenstrom* (2003). Ολόκληρος ο πίνακας, όπου υπάρχει μία επισκόπηση από

πολλές δημοσιεύσεις και για διάφορους συνδυασμούς προέλευσης του γκρι νερού παρατίθεται στον Πιν Α-5 του Παραρτήματος.

Πίνακας 4-2 Δημοσιευμένες τιμές βακτηριακών δεικτών στο γκρι νερό και σε επιμέρους τμήματα του νοικοκυριού (Ottosson and Stenstrom, 2003).

Αριθμός βακτηριακών δεικτών	Ολικά κολοβακτηριοειδή	Θερμοανθεκτικά κολοβακτηριοειδή	E. coli	Εντερόκοκκοι
	(log numbers / 100 mL)			
Γκρι νερό	7,9	5,8	5,4	2,4 - 4,6

Στη δημοσίευση *Eriksson et al.*, (2001), αναφέρονται επίσης κάποια παρόμοια αποτελέσματα. Στα απόβλητα της κουζίνας αναφέρονται συγκεντρώσεις για τα E. coli $1,3 \times 10^5 - 2,5 \times 10^8$ ανά 100 ml, για τα θερμοανθεκτικά κολοβακτηριοειδή $9,4 \times 10^4 - 3,8 \times 10^8$ ανά 100 ml, για τους εντερικούς στρεπτόκοκκους $5150 - 5,5 \times 10^8$ ανά 100 ml. Για τα ολικά και εντερικά βακτηριοειδή δεν βρέθηκαν δημοσιευμένες τιμές για αυτόν τον τύπο γκρι νερού. Το γκρι νερό του πλυσταριού βρέθηκε να περιέχει εντερικά κολοβακτηριοειδή $9 \times 10^4 - 1,6 \times 10^4$ ανά 100 ml, ολικά κολοβακτηριοειδή $56 \times 10^5 - 8,9 \times 10^5$ ανά 100 ml και εντερικούς στρεπτόκοκκους $1 \times 10^5 - 1,3 \times 10^6$ ανά 100 ml. Τα απόβλητα που προέρχονται από το μπάνιο βρέθηκαν να περιέχουν εντερικά κολοβακτηριοειδή μέχρι και 3×10^3 ανά 100 ml, ολικά κολοβακτηριοειδή $70 - 2,4 \times 10^7$ ανά 100 ml και εντερικούς στρεπτόκοκκους $1 - 7 \times 10^4$ ανά 100 ml.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε γενικά πλαίσια οι συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών είναι μικρότερες στο γκρι νερό του μπάνιου και του πλυσταριού από ό,τι στην κουζίνα. Μεταξύ άλλων, το γκρι νερό της κουζίνας περιέχει μεγάλες ποσότητες εύκολα βιοαποικοδομήσιμων στοιχείων που ευνοούν την ανάπτυξη θερμοανθεκτικών κολοβακτηριοειδών (*Li et al.*, 2009). Για αναλυτικότερα αποτελέσματα ο αναγνώστης παραπέμπεται στη δημοσίευση *Eriksson et al.* (2001).

4.2.2 Έκθεση σε Παθογόνα του Γκρι Νερού

Η έκθεση σε πιθανά παθογόνα στοιχεία που βρίσκονται στο γκρι νερό μπορεί να προκύψει από την άμεση επαφή με νερό ρυπασμένων πηγών, το οποίο προορίζεται για πόση και από την επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων, από όπου η έκθεση εξαρτάται κυρίως από την επεξεργασία των υδάτων αυτών για πόσιμη χρήση. Οι άνθρωποι μπορεί ακόμα να εκτεθούν στο γκρι νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση μέσω της εισπνοής αερολυμάτων, αναλόγως και των πρακτικών διανομής του νερού, όπως επίσης από την κατανάλωση καρπών που έχουν αρδευτεί με ρυπασμένο νερό. Στον Πιν Α-6 (του Παραρτήματος) δίνονται κάποιοι πιθανοί τρόποι έκθεσης σε παθογόνα από τη χρήση ή την απόθεση νερού (κατάποση νερού, εισπνοή αερολυμάτων, κολύμβηση), τα μέρη και οι διεργασίες του συστήματος τα οποία σχετίζονται με τη μετάδοση των παθογόνων αυτών και οι αντίστοιχες ποσότητες νερού που προσλαμβάνονται από τον οργανισμό σε κάθε έκθεση.

Πάντως το γκρι νερό ενδέχεται να περιέχει υψηλό φορτίο εύκολα αποικοδομήσιμων στοιχείων, τα οποία ευνοούν την ανάπτυξη των δεικτών κοπρανώδους ρύπανσης στα συστήματα γκρι νερού. Ως εκ τούτου, οι αριθμοί βακτηριακών δεικτών ενδέχεται να μας οδηγήσουν σε μια υπερεκτίμηση του κοπρανικού φορτίου και του σχετικού κινδύνου.

Μερικές φορές, τα εντερικά παθογόνα βακτηρίδια, όπως η Σαλμονέλα (*Salmonella*) και το Καμπυλοβακτηρίδιο (*Campylobacter*) ενδέχεται να εμφανιστούν λόγω ανεπαρκούς περιποίησης της κουζίνας, εκτός από την απευθείας διάθεση κοπρανικού υλικού από τους ανθρώπους.

Τα επιδημιολογικά δεδομένα από την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού για αρδευτικούς σκοπούς σε γενικές γραμμές είναι ελλιπή. Για το λόγο αυτό αξιοποιείται μέρος των γνώσεων για την επαναχρησιμοποίηση των μεικτών λυμάτων και της υλός. Σε περιοχές όπου χρησιμοποιούνται ανεπεξέργαστα περιττώματα ως λίπασμα σποραδικά αναφέρεται η επικράτηση των μολύνσεων από νηματώδη σκώληκα (*Ascaris*) και γενικώς από έλμινθες (*helminths*) και ιδιαίτερα σε υγρό κλίμα εμφανίζονται αγκυλοστομιάσεις (*hookworm infection*) (*WHO, 2006*).

Τα ούρα σε γενικές γραμμές δεν θα έπρεπε να βρίσκονται στο γκρι νερό, όμως ίχνη ούρων βρίσκονται κάποιες φορές στο γκρι νερό που προέρχεται από το μπάνιο. Τα ούρα είναι σε γενικές γραμμές αποστειρωμένα και ακίνδυνα, όμως μερικές λοιμώξεις έχουν ως συνέπεια τη μεταφορά κάποιων παθογόνων στα ούρα. Οι τρεις κυριότερες λοιμώξεις είναι η σχιστοσωμίαση, ο τύφος και η λεπτοσπείρωση.

4.2.3 Κοπρανικό Φορτίο (*Faecal Load*) – Συγκέντρωση Παθογόνων στο Γκρι Νερό

Είναι γενικότερα σημαντική η διερεύνηση της εισαγωγής, της επιβίωσης και της μετάλλαξης των μικροοργανισμών σε ένα σύστημα αποχέτευσης γκρι νερού. Όπως έχουμε αναφέρει, οι κίνδυνοι από τα παθογόνα που βρίσκονται στο γκρι νερό εξαρτώνται κυρίως από το φορτίο κοπρανικού υλικού που υπεισέρχεται στο γκρι νερό και προφανώς και από τη μικροβιακή συγκέντρωση του κοπρανικού αυτού υλικού. Οπότε χρήσιμος θα ήταν ο υπολογισμός του κοπρανικού φορτίου, ώστε με αυτό γνωστό και με γνωστή την πυκνότητα ενός παθογόνου στα κόπρανα, να μπορούμε να βρίσκουμε τη συγκέντρωση του παθογόνου στο γκρι νερό. Το κοπρανικό φορτίο εκτιμάται περίπου 100-1000 φορές μικρότερο στο γκρι νερό από ό,τι στο μαύρο νερό, δηλαδή στα μεικτά λύματα.

Ένα πλήθος κοπρανικών μικροβιακών δεικτών, των οποίων η συγκέντρωση στο γκρι νερό έχει ήδη μελετηθεί, έχουν τεθεί υπό σύγκριση για τον προσδιορισμό του κοπρανικού φορτίου στο γκρι νερό (*gr/person per day*), το οποίο υπολογίζεται ως εξής (*WHO, 2006*):

$$\frac{\text{Microorganism density} \left(\frac{\text{numbers}}{\text{mL}} \right) \times \text{Flow} \left(\frac{\text{mL}}{\text{person per day}} \right)}{\text{Excretion density} \left(\frac{\text{numbers}}{\text{gr faeces}} \right)}$$

Στην τελευταία στήλη του Πιν A-7 (του Παραρτήματος), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω σχέσης για κάποιους μικροβιακούς δείκτες. Για παράδειγμα, για το κολοβακτηρίδιο *E.coli* έχουμε (με υπόθεση παραγωγής 64,9 L γκρι νερού/άτομο ανά ημέρα):

$$\frac{\frac{10^6 E. coli}{100 \text{ ml}} \times 64900 \frac{\text{ml}}{\text{άτομο ημέρα}}}{10^7 \frac{E. coli}{\text{gr περιττωμάτων}}} = 65 \frac{\text{gr περιττωμάτων}}{\text{άτομο ημέρα}}$$

Πιο απλά, μπορούμε να σημειώσουμε ότι το κοπρανικό φορτίο μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας το πλήθος ενός παθογόνου που απορρίπτεται περιττωματικά στο γκρι νερό ανά άτομο ανά ημέρα, δια το πλήθος του παθογόνου ανά gr περιττωμάτων. Στον Πιν Α-8 (του Παραρτήματος) παρουσιάζονται τρία παραδείγματα της παραπάνω διαδικασίας.

$$\left(\frac{\text{πλήθος} / \text{άτομο ημ έρα}}{\text{πλήθος} / \text{gr περιττωμ άτων}} = \frac{\text{gr περιττωμ άτων}}{\text{άτομο ημ έρα}} \right)$$

Παρατηρούμε ότι η χρήση των E.coli και εντερόκοκκων ως βιοδείκτες οδηγεί σε υπερεκτίμηση του κοπρανικού φορτίου σε επίπεδο τάξεων μεγέθους. Είναι παρατηρημένο ότι οι βακτηριακοί δείκτες τείνουν να υπερεκτιμούν το περιττωματικό φορτίο στο γκρι νερό. Συγκριτικά με τους χημικούς βιοδείκτες, έχει διαπιστωθεί υπερεκτίμηση κατά 100-1000 φορές για το περιττωματικό φορτίο. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία αποικοδομήσιμης οργανικής ύλης στο γκρι νερό, η οποία ευνοεί τη βακτηριακή ανάπτυξη, οπότε ο αριθμός των βακτηρίων οδηγεί μάλλον σε υπερεκτίμηση των κινδύνων. Ωστόσο, τα μολυσματικά στοιχεία στο γκρι νερό εξακολουθούν να είναι σημαντικά και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν, κατά την εκτίμηση του κινδύνου και κατά την επιλογή των μεθόδων διαχείρισης του νερού αυτού. Το αποτέλεσμα του βιοδείκτη coprostanol θεωρείται πιο αντιπροσωπευτικό για να χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της συγκέντρωσης κάθε παθογόνου όπως βλέπουμε στη συνέχεια.

Έπειτα, με γνωστό το κοπρανικό φορτίο (gr/άτομο/ημέρα), μπορεί να υπολογιστεί η συγκέντρωση οποιουδήποτε παθογόνου σε ανεπεξέργαστο γκρι νερό (πλήθος/ml), αρκεί να γνωρίζουμε την πυκνότητά του στις απεκκρίσεις (πλήθος/gr κοπράνων). Στο παράδειγμα που ακολουθεί χρησιμοποιείται ο βιοδείκτης coprostanol, που θεωρείται ότι μας δίνει συντηρητική τιμή κοπρανικού φορτίου στο γκρι νερό (0,04 gr ανά άτομο ανά ημέρα) (WHO, 2006). Φυσικά, ένα υψηλότερο κοπρανικό φορτίο θα μπορούσε να επικρατεί υπό άλλες συνθήκες, οπότε οι υπολογισμοί θα προσαρμόζονταν κατάλληλα.

$$\frac{0,04(\text{gr per person per day}) \times \text{excretion density} \left(\frac{\text{numbers}}{\text{gr faeces}} \right) \times \text{excretion time (days)} \times \text{yearly incidence}}{64900 \left(\frac{\text{mL}}{\text{day}} \right) \times 365 (\text{days})}$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το κοπρανικό φορτίο, η μικροβιακή πυκνότητα απεκκρίσεων και ο χρόνος απέκκρισης βρίσκονται ως συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας. Η ημερήσια παραγωγή ανά άτομο θεωρήθηκε ότι είναι 64,9 λίτρα.

4.2.4 Επιβίωση των Κοπρανικών Παθογόνων εντός του Συστήματος Γκρι Νερού

Στο εσωτερικό πολλών σωληνώσεων ενός σπιτιού δημιουργείται καθίζημα, από το οποίο ενδέχεται να προκληθούν απότομες αυξήσεις στον αριθμό των βακτηριδίων (άρα και σε βακτηριακούς δείκτες) και σε παθογόνα όπως η Σαλμονέλα και τα Καμπυλοβακτηρίδια, λόγω ελλιπούς περιποίησης. Τα Καμπυλοβακτηρίδια πεθαίνουν γρήγορα εξαιτίας των θερμοκρασιακών επιδράσεων, του ανταγωνισμού με συμβιούντα στοιχεία και της έλλειψης επαρκών θρεπτικών στοιχείων. Τα απομονωμένα Καμπυλοβακτηρίδια κλινικού ενδιαφέροντος δεν θεωρείται πιθανό να αναπτυχθούν σε θερμοκρασίες κάτω των 30 °C και δεν αναπτύσσονται στις συνήθεις συνθήκες των συστημάτων επεξεργασίας γκρι νερού. Η

Σαλμονέλα μπορεί να αναπτυχθεί σε θερμοκρασίες 20 °C και κάτω, είναι όμως πιθανό να κατασταλεί από αυτόχθονες μικροοργανισμούς) (WHO, 2006). Στο γκρι νερό βρέθηκε ότι η Σαλμονέλα τύπου Typhimurium δεν εμφανίζει ανάπτυξη, αλλά διατηρεί έναν αριθμό για δύο ημέρες κι έπειτα μειώνεται σταδιακά. Τα κολοβακτηριοειδή E. coli επίσης δεν αναπτύσσονται, μπορούν όμως να επιζήσουν και να ανιχνευθούν έπειτα και από 14 ημέρες (Eriksson et al., 2001). Γενικώς, τα παθογόνα είναι περισσότερο πιθανό να μειωθούν, όντας έξω από τον ξενιστή τους.

Τα πρωτόζωα κρυπτοσπορίδιο (Cryptosporidium) και Giardia είναι σχετικά ανθεκτικά στην απολύμανση, ενώ τα θειοαναγωγικά κλωστηρίδια (Clostridium perfringens) διαδίδονται με σπόρους και μπορεί να επιζήσουν περισσότερο από άλλους μικροοργανισμούς. Οι σπόροι αυτοί μπορούν επίσης να μας χρησιμεύσουν ως δείκτες κοπρανικού ρυπαντικού φορτίου. Οι λεγεωνέλλες (Legionella) μπορούν να μεταδοθούν με αερολύματα κι έτσι υπάρχει κίνδυνος εισπνοής κατά την έκπλυση της λεκάνης της τουαλέτας με το (γκρι) νερό από το καζανάκι ή κατά την επιφανειακή άρδευση. Είναι αρκετά ανθεκτικές στις διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων και γι' αυτό η παρουσία της μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα (WHO, 2006).

Επίσης θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν ο χρόνος αποθήκευσης του γκρι νερού. Έχει διατυπωθεί (Dixon et al., 1999) ότι έπειτα από την παρέλευση 24 ωρών αποθήκευσης, η ποιότητα του νερού βελτιώνεται, όμως η αποθήκευση για περισσότερες από 48 ώρες μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα.

Τα ποσοστά αποσύνθεσης στις επικαθίσεις και σε άλλα περιβάλλοντα, που χρησιμοποιούνται στην Ποσοτική Εκτίμηση Μικροβιολογικού Κινδύνου (QMRA) παρουσιάζονται στον Πιν Α-9 (του Παραρτήματος). Οι εντερόκοκκοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συντηρητικοί μικροβιακοί δείκτες για τη Σαλμονέλα και τα Καμπυλοβακτηρίδια, οι σωματικοί κολιφάγοι (somatic coliphages) και τα F-specific RNA βακτηριοφάγα για το ροταϊό, και οι αναερόβιοι βακτηριακοί σπόροι που μειώνουν το θειώδες άλας για Giardia και ωκύστες Κρυπτοσποριδίων (WHO, 2006).

4.2.5 Επιβίωση των Παθογόνων στο Έδαφος και στους Καρπούς των Καλλιεργειών

Η επεξεργασία του γκρι νερού στοχεύει στην εξάλειψη των παθογόνων πριν την αρδευτική χρήση του. Ωστόσο στην πράξη, η αδρανοποίηση των παθογόνων στο έδαφος ενδέχεται να συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στη μείωση του γενικού κινδύνου. Συνήθως η αδρανοποίηση γίνεται με περισσότερο ταχείς ρυθμούς σε ζεστό καιρό ή/και όταν εκτίθενται σε ήλιο, παρά σε κρύο, βροχή και σε συνεφιασμένο περιβάλλον. Επίσης, γίνεται με περισσότερο ταχείς ρυθμούς πάνω στους καρπούς των καλλιεργειών παρά στο έδαφος. Κάποια όμως παθογόνα ίσως αντέξουν για εκτεταμένες περιόδους στο έδαφος, είτε στην επιφάνεια των καλλιεργειών και μπορεί να μεταδοθούν σε ανθρώπους ή ζώα. Τα περισσότερο ανθεκτικά παθογόνα είναι τα αυγά ελμίνθων (helminth eggs), τα οποία σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να επιζήσουν στο έδαφος για αρκετά χρόνια. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για την υγεία συνήθως σχετίζεται με το ανεπαρκώς επεξεργασμένο γκρι νερό σε συνδυασμό με την κατανάλωση ωμών καρπών, όπως για παράδειγμα καρπούς για σαλάτες (WHO, 2006).

Παράλληλα, μερικοί καρποί είναι πιο ευαίσθητοι σε επιμόλυνση από άλλους, όπως για παράδειγμα τα κρεμμύδια και τα μαρούλια. Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας ορισμένων καρπών (π.χ. κολλώδης, τραχεία, φουντωτή, σκληρή, με χαρακώσεις) αποτρέπουν την έκθεση των παθογόνων στην ακτινοβολία και καθιστούν περισσότερο δύσκολη την έκπλυσή τους, οπότε είναι πιο πιθανό να βρίσκονται παθογόνα πάνω σε αυτές τις επιφάνειες. Μια έρευνα κατέδειξε ότι η επιφάνεια του μαρουλιού και του πεπονιού διατηρεί πιο εύκολα τα παθογόνα, σε αντίθεση με την επιφάνεια της πιπεριάς που είναι λεία.

Ο βαθμός κατά τον οποίο οι καρποί συγκρατούν το νερό (π.χ. της βροχής, η οποία επιπροσθέτως μεταφέρει από την πτώση της επιμολυσμένο χώμα εδάφους προς τα πάνω, δηλαδή προς τους καρπούς) είναι σημαντικός για τον προσδιορισμό της έκθεσης των ανθρώπων στα παθογόνα. Έχει μετρηθεί για παράδειγμα ότι ένα μαρούλι συγκράτησε 10.8 mL αρδευτικού νερού, ενώ ένα αγγούρι συγκράτησε μόνο 0.36 mL. Στους Πιν A-10, Πιν A-11 (του Παραρτήματος) παρουσιάζεται ο χρόνος (σε ημέρες) στον οποίο μπορούν να επιβιώσουν διάφοροι μικροοργανισμοί πάνω σε καρπούς και στο έδαφος. Δίνονται οι ακραίες τιμές και οι συνήθεις τιμές.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στη δημοσίευση των *Finley et al. (2009)* υποστηρίζεται ότι η χρήση γκρι νερού για αρδευτικούς σκοπούς δεν συνεπάγεται απαραίτητως υψηλότερες συγκεντρώσεις βακτηριδίων στους καρπούς των φυτών, αφού αυτές έχουν βρεθεί σε όμοια επίπεδα – με άρδευση στο επίπεδο του εδάφους – με αντίστοιχες συγκεντρώσεις για φυτά που αρδεύτηκαν με πόσιμο νερό.

4.3 Ξενοβιοτικές Οργανικές Ουσίες

Οι ξενοβιοτικές οργανικές ουσίες (Xenobiotic Organic Compounds) είναι χημικές οργανικές ουσίες και με τον όρο ξενοβιοτικές δηλώνεται ότι οι ουσίες αυτές δεν υπάρχουν και δεν συντίθενται στο φυσικό περιβάλλον. Αρκετές από τις ουσίες αυτές είναι τοξικές για τον άνθρωπο ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και ορισμένες από αυτές είναι δυνατόν να διατηρηθούν στο έδαφος και στο υπόγειο νερό για πολλά χρόνια, αποτελώντας σημαντικό κίνδυνο (*Ζαμπετάκης, 2000*).

Οι ουσίες αυτές προέρχονται συνήθως από χημικά προϊόντα, που χρησιμοποιούνται για τις εργασίες του νοικοκυριού όπως απορρυπαντικά, σαπούνια, σαμπουάν, αρώματα, συντηρητικά, χρωστικές ουσίες και προϊόντα οικιακού καθαρισμού. Η χρήση των προϊόντων αυτών διαφέρει από κράτος σε κράτος, βέβαια και από άνθρωπο σε άνθρωπο. Στον Πιν A-12 (του Παραρτήματος) παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαφορετική ποσοτική χρήση, για κάποιες ομάδες προϊόντων, σε κάποια κράτη. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η συγκριτικά μεγαλύτερη κατανάλωση απορρυπαντικών σε σχέση με άλλα χημικά προϊόντα (προϊόντα σαπουνιού, αφρούλουτρου, σαμπουάν...) (*Eriksson et al., 2001*).

4.3.1 Μέθοδοι Ανάλυσης της Σύστασης των Χημικών Ουσιών

Μία μέθοδος για να γίνει η περιγραφή των χημικών ουσιών που βρίσκονται στο γκρι νερό είναι η ανάλυση της εκροής. Έτσι, ο χαρακτηρισμός της ποιότητας θα βασίζεται στα δεδομένα του παραγόμενου αυτού γκρι νερού. Τα αποτελέσματα που εξάγονται με αυτήν τη μέθοδο συνήθως δίνουν τις χημικές ενώσεις που εμφανίζονται σε μεγάλες ποσότητες, τις

κύριες δηλαδή ουσίες που αναμένονται να προκαλέσουν προβλήματα όταν εναποθεθούν στο περιβάλλον.

Μία εναλλακτική μέθοδος, για το χαρακτηρισμό του γκρι νερού, μπορεί να βασίζεται στις χημικές ενώσεις, που αναμένεται να βρεθούν στο γκρι νερό, με δεδομένα τα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται στο νοικοκυριό. Αυτό μπορεί έπειτα να συνδυαστεί και με έναν περιβαλλοντικό εντοπισμό κινδύνου. Σε μία έρευνα που διεξήχθη με στοιχεία από Δανέζικα νοικοκυριά και βασίστηκε στα περιεχόμενα που αναγράφονται στη συσκευασία κάθε προϊόντος, βρέθηκαν τουλάχιστον 900 διαφορετικά χημικά στοιχεία και ομάδες ενώσεων. Αυτά κατηγοριοποιήθηκαν σε 14 ομάδες, αναλόγως τη λειτουργία που επιτελούν στο χημικό προϊόν (Πιν Α-13 του Παραρτήματος). Τα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται στα νοικοκυριά συνήθως εμπεριέχουν στοιχεία από πολλές από αυτές τις ομάδες. Κάποια από τα στοιχεία θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε περισσότερες από μία ομάδες, όμως τελικά τοποθετήθηκαν στην ομάδα που περιγράφει την κυριότερη λειτουργία του στοιχείου (Eriksson et al., 2001).

4.3.2 Κατηγοριοποίηση Ουσιών

Μεγάλη ομάδα από τα 900 χημικά στοιχεία της λίστας αποτελούν τα επιφανειοδραστικά που βρίσκονται σε απορρυπαντικά, υγρά πιάτων και προϊόντα υγιεινής και ανήκουν στις κατηγορίες των επαμφοτεριζόντων, ανιονικών, κατιονικών και μη ιονικών απορρυπαντικών (amphoteric detergents, anionic detergents, cationic detergents, non-ionic detergents). Άλλες μεγάλες ομάδες – σε αριθμό διαφορετικών στοιχείων που τις αποτελούν – είναι τα αρώματα (fragrances and flavours), οι διαλύτες (solvents) και τα συντηρητικά (preservatives). Τα στοιχεία που δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί εντάσσονται στην ομάδα «Διάφορα» («Miscellaneous»). Σημειώνεται ακόμα, ότι στο γκρι νερό έχουν βρεθεί και απρόσμενα στοιχεία όπως ναρκωτικά και φυτοφάρμακα.

Οι ξενοβιοτικές αυτές ουσίες (XOCs) είναι αναγκαίο να κατηγοριοποιηθούν και ανάλογα με την επικινδυνότητά τους. Τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η τοξικότητα, η βιοσυσσώρευση και η βιοαποικοδομησιμότητα. Δημιουργήθηκαν έτσι οκτώ διαφορετικές διαβαθμίσεις ως προς την επικινδυνότητα για το περιβάλλον. Από τα 900 χημικά στοιχεία, τα 211 μόνο βρέθηκαν να έχουν αξιολογηθεί για την τοξικότητα, τη βιοσυσσώρευση και τη βιοαποικοδομησιμότητά τους και τα 66 από τα 211 θεωρήθηκαν ως περισσότερο επικίνδυνα να βλάψουν το περιβάλλον. Αυτά τα 66, που καταλαμβάνουν τις τρεις πρώτες διαβαθμίσεις, παρουσιάζονται στον Πιν Α-14 (του Παραρτήματος). Μπορούμε να υποθέσουμε ότι στις τρεις αυτές πρώτες διαβαθμίσεις θα συμπεριλαμβάνονταν πολλά ακόμα χημικά στοιχεία από τα υπόλοιπα 689, για τα οποία δεν υπήρχαν διαθέσιμες πληροφορίες. Ο αριθμός πάντως των δημοσιεύσεων, που συμπεριλαμβάνουν τη διερεύνηση των συγκεντρώσεων των XOCs στο γκρι νερό, είναι πολύ μικρός.

Εκτός όμως από τις ουσίες που εμπεριέχονται στα προϊόντα του νοικοκυριού μπορεί να δημιουργηθούν και παραπροϊόντα. Αυτό συμβαίνει όταν κάποια στοιχεία αναμιγνύονται με κάποια άλλα και από την ανάμιξη αυτή παράγεται μία νέα χημική ένωση. Ακόμη και κατά την οξείδωση, είτε οι μικροβιολογικές δραστηριότητες μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή προϊόντων, κατά την αποδόμηση, με ιδιότητες διαφορετικές από αυτές των στοιχείων προέλευσης. Έχει δειχθεί ότι οι απορρυπαντικές σκόνες, που χρησιμοποιούνται

στα πλυντήρια πιάτων και περιέχουν χλώριο, αυξάνουν το περιεχόμενο των προσροφούμενων αλογονούχων οργανικών ενώσεων (ΑΟΧ) (Eriksson et al., 2001).

4.4 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά στα χαρακτηριστικά του γκρι νερού. Η ποιότητα του γκρι νερού εξαρτάται από την ποιότητα του πόσιμου νερού, από τον τύπο και την κατάσταση των δικτύων και από τις δραστηριότητες εντός του νοικοκυριού, από τις οποίες προέρχεται το γκρι νερό. Οι καθημερινές συνήθειες και ο τρόπος χρήσης του οικιακού νερού μεταβάλλει τον τρίτο παράγοντα με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται έντονες διαφοροποιήσεις στην ποιότητα του γκρι νερού διάφορων νοικοκυριών.

Το γκρι νερό συνεισφέρει περίπου το 10% της συνολικής ποσότητας αζώτου στο μεικτά λύματα (μαύρο νερό) (όπου τα ούρα αποτελούν μια σημαντική πηγή), το 10-30% του συνολικού εισερχόμενου φωσφόρου και 50% της άμεσα αποικοδομήσιμης οργανικής ύλης. Τα επίπεδα του COD των οικιακών λυμάτων προέρχονται κυρίως από τα υγρά πιάτων και τα απορρυπαντικά των ρούχων, οπότε το COD του γκρι νερού δεν είναι κατά πολύ μικρότερο του COD των μεικτών λυμάτων. Ακόμα, θεωρείται ότι ο κύριος όγκος των συστατικών του γκρι νερού έχουν καλή βιοδιασπασιμότητα.

Ο κύριος διαχωρισμός που γίνεται σχετίζεται με την προέλευση του γκρι νερού, οπότε έχουμε τα απόνερα του μπάνιου, εκείνα που προέρχονται από την πλύση των ρούχων (πλυσταριό) και τα απόνερα της κουζίνας. Από τη σύγκριση των τριών αυτών τύπων γκρι νερού προκύπτει ότι τα απόνερα της κουζίνας παρουσιάζουν τη χαμηλότερη ποιότητα, με τις μεγαλύτερες συγκριτικά συγκεντρώσεις να εστιάζονται στο οργανικό φορτίο (λόγω και των απορριπτόμενων λιπών και ελαίων), στα αιωρούμενα στερεά και στο άζωτο. Τα απόνερα από την πλύση των ρούχων παρουσιάζουν λίγο καλύτερη ποιότητα, παρουσιάζουν όμως αυξημένες συγκεντρώσεις COD και φωσφορικών αλάτων (λόγω της χρήσης των απορρυπαντικών) αλλά και μεγάλες τιμές θολότητας. Το νερό του μπάνιου παρουσιάζει την καλύτερη ποιότητα. Οι διαφοροποιήσεις στη χρήση του νερού αλλά και των τύπων προϊόντων (π.χ. φωσφορούχα ή μη απορρυπαντικά ρούχων) είναι ένας λόγος που παρουσιάζονται έντονες διακυμάνσεις στις τιμές των μεγεθών που χαρακτηρίζουν την ποιότητα.

Στο γκρι νερό μπορεί να υπάρχουν σημαντικές ποσότητες παθογόνων μικροοργανισμών (ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα, έλμινθες) αλλά σε μικρότερο βαθμό από ό,τι στα μεικτά λύματα. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το κοπρανικό φορτίο του γκρι νερού (που οφείλεται για παράδειγμα στον καθαρισμό του πρωκτού κ.α.), αλλά η παρουσία τους προέρχεται και από το πλύσιμο των ρούχων, από το πλύσιμο ωμών λαχανικών και κρέατος και από δραστηριότητες προσωπικής υγιεινής.

Υπάρχει όμως επιπρόσθετος κίνδυνος δευτερογενούς ανάπτυξης μικροοργανισμών εντός του συστήματος, για παράδειγμα εξαιτίας μεγάλου χρόνου αποθήκευσης του γκρι νερού σε μια δεξαμενή. Σε εξωτερικό περιβάλλον οι παθογόνοι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται, ειδικά σε ζεστό κλίμα, με ηλιοφάνεια. Τα περισσότερα ανθεκτικά παθογόνα είναι τα αυγά ελμίνθων (helminth eggs), τα οποία σε συνήθεις συνθήκες εξαλείφονται εντός 30 ημερών από τους καρπούς των φυτών. Η έκθεση σε παθογόνα μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με

την άμεση επαφή, είτε με την εισπνοή αερολυμάτων, είτε με την κατανάλωση καρπών που έχουν αρδευτεί με γκρι νερό.

Οι ξενοβιοτικές οργανικές ουσίες είναι χημικές οργανικές ουσίες, οι οποίες δεν υπάρχουν και δεν συντίθενται στο φυσικό περιβάλλον, είναι τοξικές για τον άνθρωπο και είναι δυνατόν να διατηρηθούν στο έδαφος και στο υπόγειο νερό για πολλά χρόνια. Σύμφωνα με μία δημοσίευση από τα 900 χημικά στοιχεία που έχουν βρεθεί στο γκρι νερό τα 211 μόνο βρέθηκαν να έχουν αξιολογηθεί για την τοξικότητα, τη βιοσυσσώρευση και τη βιοαποικοδομησιμότητα και τα 66 κρίθηκαν περισσότερο επικίνδυνα για το περιβάλλον. Πιθανή είναι ακόμα η δημιουργία παραπροϊόντων. Πρόκειται για ένα πεδίο όπου δεν βρέθηκε να έχουν διεξαχθεί πολλές ερευνητικές εργασίες και μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Κίνδυνοι και Προστασία κατά την Επαναχρησιμοποίηση Γκρι Νερού και Προτεινόμενα Ποιοτικά Όρια

Οι δημοφιλέστερες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού περιλαμβάνουν τη χρησιμοποίησή του για την άρδευση φυτών και τη χρήση του στο καζανάκι για την έκπλυση της τουαλέτας. Ωστόσο, δεν είναι ξεκάθαρο το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας του νερού, με το οποίο κάθε χρήση να θεωρείται ασφαλής. Για το λόγο αυτό θεσπίζονται – από διάφορους κρατικούς ή μη οργανισμούς – ειδικές προδιαγραφές (όπως κριτήρια, οδηγίες και πρακτικές ορθής χρήσης), όπου τίθενται προτεινόμενα όρια πάνω στα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τα οποία ενδέχεται να επιβάλλονται και από τη νομοθεσία της πολιτείας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον, που σχετίζονται με τη χρήση του γκρι νερού για αρδευτικούς σκοπούς και γίνεται μια εστίαση σε πρακτικούς τρόπους με τους οποίους αυτοί περιορίζονται. Έπειτα αναφέρονται κάποια προτεινόμενα όρια ποιότητας που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία.

5.1 Κίνδυνοι από τη Χρήση του Ανεπεξέργαστου Γκρι Νερού για Αρδευτικούς Σκοπούς

Οι *Wiel-Shafran et al. (2006)* επισημαίνουν ότι συχνά υποτιμούνται οι κίνδυνοι που προέρχονται από τη χρήση ανεπεξέργαστου γκρι νερού. Ένας διαχωρισμός που μπορεί να γίνει είναι ανάμεσα στους κινδύνους για την υγεία και τους κινδύνους για το περιβάλλον.

5.1.1 Κίνδυνοι για την Υγεία

Οι βασικοί κίνδυνοι για την υγεία από την άρδευση με ανεπεξέργαστο γκρι νερό έγκεινται είτε στην άμεση επαφή του ανθρώπου με μέρος του ίδιου του συστήματος, είτε στην κατανάλωση από τον άνθρωπο καρπών, δυνητικά μολυσμένων λόγω της άρδευσής τους με ανεπεξέργαστο γκρι νερό (*WHO, 2006*).

Εκείνοι που έρχονται σε άμεση επαφή με κάποιο μέρος του συστήματος μπορεί να είναι το εργατικό προσωπικό που φροντίζει τις εγκαταστάσεις, είτε φροντίζει για τη σωστή λειτουργία και συντήρηση του συστήματος. Μπορεί να είναι ακόμη εκείνοι που φροντίζουν για την καλλιέργεια, την άρδευση και τη συγκομιδή, δηλαδή οι άνθρωποι που εργάζονται επί του αγρού. Επίσης, μπορεί να είναι άλλοι άνθρωποι που επισκέπτονται είτε τις εγκαταστάσεις, είτε τις αρδευόμενες εκτάσεις, αλλά και άνθρωποι που διαβιούν σε κοντινή απόσταση και κινδυνεύουν για παράδειγμα να εισπνεύσουν αερολύματα, σε περίπτωση άρδευσης με καταιονισμό.

Βλέπουμε λοιπόν ότι οι κυριότεροι τρόποι έκθεσης είναι η άμεση επαφή π.χ. με τα χέρια, η κατανάλωση και η εισπνοή. Ένας ακόμη κίνδυνος όμως που έχει αναφερθεί, είναι η δημιουργία συνθηκών που ευνοούν την ανάπτυξη και αναπαραγωγή εντόμων, για παράδειγμα κουνουπιών, τα οποία μεταξύ άλλων είναι και φορείς μολυσματικών στοιχείων (*WHO, 2006*). Πρέπει να αναφερθεί ότι ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί, ώστε να

περιοριστεί (έως εξαλειφθεί) και ο κίνδυνος μπερδέματος, δηλαδή ο κίνδυνος θεώρησης του γκρι για πόσιμο νερό.

5.1.2 Κίνδυνοι για το Περιβάλλον

Οι *Eriksson et al. (2003)* αναφέρουν ότι δεν υπάρχουν πολλές έρευνες στη βιβλιογραφία που να σχετίζονται με την εκτίμηση περιβαλλοντικού κινδύνου από την εδαφική διήθηση γκρι νερού. Οι περισσότερες εστιάζουν στα θέματα της δημόσιας υγείας.

Μερικά βασικά μεγέθη που μελετώνται, ώστε να χαρακτηριστεί η ποιότητα ενός εδάφους είναι η αλατότητα (salinity), η αναλογία προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio, SAR), το περιεχόμενο σε οργανική ύλη, το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC (Electrical Conductivity). Πολύ υψηλές τιμές αλατότητας και SAR έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του εδάφους, προκαλώντας τοξικά και ωσμωτικά φαινόμενα (*Al-Hamaiedeh and Bino, 2010*).

Ένας φόβος που εκφράζεται, είναι ότι η μακροχρόνια συσσώρευση συστατικών στοιχείων από απορρυπαντικά στο έδαφος, ενδέχεται να προκαλέσει υδροφοβικές ιδιότητες στο έδαφος οδηγώντας στην αδιαβροχοποίησή του (water-repellent soils). Κατά συνέπεια, υπάρχει ο κίνδυνος πρόκλησης αρνητικών επιπτώσεων στην υδροαπορροφητικότητα και στην παραγωγικότητα του εδάφους (*Wiel-Shafran et al., 2006*). Η απόθεση ελαίων και βορίου μπορεί επίσης να επιδράσει αρνητικά στις ιδιότητες του εδάφους, να προξενήσει ζημιές σε φυτά και να μολύνει τα υπόγεια ύδατα (*Wiel-Shafran et al., 2006*).

Τα αποτελέσματα σε μία εφαρμογή των *Al-Hamaiedeh and Bino (2010)* έδειξαν ότι δεν επηρεάστηκαν οι χημικές ιδιότητες ελαιόδεντρων και λαχανικών που αρδεύτηκαν με γκρι νερό, επηρεάστηκε όμως αρνητικά η βιολογική ποιότητα των λαχανικών. Επίσης, οι τιμές SAR του γκρι νερού ήταν ικανοποιητικές και ανέδειξαν την καταλληλότητά του για άρδευση, χωρίς όμως να υπάρχει διαβεβαίωση για μη αρνητικές μακροχρόνιες συνέπειες της εφαρμογής αυτής. Για την αποφυγή της συσσώρευσης χημικών συστατικών στο έδαφος και των σχετικών προβλημάτων επισημάνθηκε ο θετικός ρόλος που μπορεί να έχει η εναλλάξ εφαρμογή γκρι και πόσιμου νερού στο έδαφος.

Ο θετικός ρόλος της εναλλάξ εφαρμογής γκρι και πόσιμου νερού στο έδαφος αναδείχθηκε και στη δημοσίευση των *Pinto et al. (2010)*. Στην πειραματική τους εφαρμογή, η άρδευση με γκρι νερό δεν φάνηκε να επηρεάζει τις τιμές του αζώτου N και του φωσφόρου P στο έδαφος, φάνηκε όμως να μεταβάλλονται σημαντικά οι τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC. Με την εναλλάξ εφαρμογή όμως γκρι και πόσιμου νερού οι τιμές του pH και EC ήταν όμοιες με αυτές κατά την εφαρμογή μόνο πόσιμου νερού.

5.2 Υγειονομικοί Στόχοι (Health Targets)

Όπως έχουμε αναφέρει, ένας κοινά αποδεκτός τρόπος μέτρησης και σύγκρισης του φορτίου της νόσου (burden of disease) είναι η μονάδα DALY (Disability-Adjusted Life Year). Το 2004 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) όρισε ως αποδεκτό το όριο $<10^{-6}$ DALY ανά άτομο ανά έτος, για τις νόσους που προέρχονται από την κατανάλωση πόσιμου νερού. Το όριο αυτό θεωρούμε επίσης ως αποδεκτό και για την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού. Αυτός θα είναι και ο απώτερος στόχος της επεξεργασίας και όλων των υπόλοιπων διαχειριστικών

επιλογών, τα οποία πρωτίστως στοχεύουν στη μείωση των παθογόνων και του επακόλουθου βαθμού εκθέσεως.

Η γνώση του όγκου του γκρι νερού στο οποίο ένα άτομο είναι εκτεθειμένο, είτε από τη μεταχείρισή του, είτε από την κατανάλωσή του και η γνώση των χρόνων παραμονής και εξαφάνισης καθορίζουν και τον απαιτούμενο βαθμό μείωσης των παθογόνων για την επίτευξη του αποδεκτού φορτίου μόλυνσης που αντιστοιχεί σε $<10^{-6}$ DALY ανά άτομο ανά έτος (WHO, 2006).

5.3 Απαιτούμενη Μείωση Παθογόνων για την Ασφαλή Άρδευση και Κατανάλωση Καλλιεργούμενων Καρπών

Εάν το γκρι νερό επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση, είτε εάν διηθείται στο έδαφος, τότε για τα παρασιτικά πρωτόζωα και τους έλμινθες δεν υπάρχει ο κίνδυνος μεταφοράς τους στο υπόγειο νερό. Αυτό συμβαίνει λόγω του μεγάλου μεγέθους τους, που έχει ως συνέπεια τη συγκράτησή τους από το έδαφος κατά τη διήθηση του νερού υπό το βάρος του. Αντιθέτως, η ρύπανση του υπόγειου νερού με βακτήρια και ιούς είναι πιθανή και μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα (Eriksson et al., 2001).

Ως ένας γενικός στόχος, για μη περιορισμένη άρδευση καλλιέργειας με γκρι νερό, θα θεωρούταν αρκετή μια μείωση των παθογόνων κατά 4-5 λιγότερες λογαριθμικές μονάδες (log units), ώστε το μολυσματικό φορτίο να είναι $<10^{-6}$ DALYs ανά άτομο ανά έτος, που είναι ο στόχος που έχουμε θέσει.

Συχνά, η πληροφόρηση για τη μείωση των βακτηριδίων βασίζεται στη μέτρηση των E. coli, που είτε χρησιμοποιείται ως μικροβιακός δείκτης, είτε περιλαμβάνει πληροφορίες για τη συχνότητα με την οποία ανιχνεύονται παθογόνα όπως η Σαλμονέλα στους καρπούς των καλλιεργειών. Αυτές οι μετρήσεις μας βοηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την εκτίμηση του κινδύνου. Για μη περιορισμένη άρδευση προτείνεται μια τιμή συγκέντρωσης $<10^3$ E.coli/100 ml ως αποδεκτή, ενώ για περιορισμένη άρδευση το όριο είναι $<10^5$ (Πίνακας 5-1). Τα όρια αυτά μπορούν υπό ορισμένες προϋποθέσεις να υπερβαίνονται μέχρι κάποιων άλλων ορίων. Για τα πρωτόζωα δεν υπάρχει ακόμα μια ξεκάθαρη αντίστοιχη τιμή (WHO, 2006).

Οι Ottoson and Stenström (2003) προτείνουν οι οδηγίες για την ασφαλή χρήση του γκρι νερού για άρδευση να μη βασίζονται στα θερμοανθεκτικά κολοβακτηρίδια ως υγειονομική παράμετρο, λόγω της μεγάλης εισροής στο γκρι νερό μη κοπρατικών κολοβακτηριδίων και της γενικότερα αυξημένης παρουσίας των κολοβακτηριδίων, εκτός και αν οι συγκεντρώσεις προσαρμόζονται για τα φαινομενικά αυξημένα επίπεδα. Ωστόσο, η ενδεχόμενη υπερεκτίμηση του κοπρανώδους φορτίου, επομένως και του κινδύνου, που προκύπτει από αυτούς τους βακτηριακούς δείκτες, αντισταθμίζεται σε κάποιο βαθμό από την υψηλή ευαισθησία των μικροοργανισμών στην επεξεργασία που ενδέχεται να υπόκεινται και στην περιβαλλοντική εξάλειψή τους.

Το μοντέλο κινδύνου που βασίζεται στη συγκέντρωση εντερόκοκκων εμφανίζει καλή συσχέτιση με τον κίνδυνο από τους ιούς, οι οποίοι θεωρούνται οι πιο σημαντικοί σε ένα σύστημα χωρίς απολύμανση, λόγω των υψηλών ποσοστών τους στα περιττώματα, της

ανθεκτικότητάς τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες και στις μικρές δόσεις που είναι ικανές να μολύνουν έναν ανθρώπινο οργανισμό. Ο κίνδυνος από την έκθεση σε ροταϊό θεωρείται από τους υψηλότερους και ως εκ τούτου, η επαρκής προστασία από αυτόν θεωρείται ότι επαρκεί για προστασία έναντι μολύνσεως από βακτήρια ή πρωτόζωα. Για να επιτευχθεί ο στόχος των $<10^{-6}$ DALYs για τον ροταϊό, συνήθως μια μείωση των E coli κατά 2 log units από την επεξεργασία του γκρι νερού θεωρείται επαρκής.

Οι στόχοι μείωσης των μικροβίων για την προστασία έναντι των μολύνσεων από έλμινθες (helminth infections) βασίζονται σε μικροβιολογικές μελέτες. Παρόλο που οι έρευνες, που αφορούν τον υπολογισμό του κινδύνου, θα περίμενε κανείς να προσανατολίζονται στον αριθμό των βιώσιμων αυγών, οι μειώσεις αναφέρονται ως ποσοστό των βιώσιμων αυγών ως προς το συνολικό αριθμό αυγών και όχι ως πραγματικός αριθμός. Στον Πίνακα 5-1 παρουσιάζονται τα προτεινόμενα όρια από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας για τα αυγά ελμίνθων και για τα E.coli, όταν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί γκρι νερό για άρδευση καλλιεργειών, έπειτα από επεξεργασία σε συστήματα μεγάλης κλίμακας (WHO, 2006). Τα όρια αυτά όμως σκιαγραφούν τις μικροβιολογικές απαιτήσεις πριν την επαναχρησιμοποίηση, χωρίς να συνυπολογίζονται άλλες φυσικές και χημικές παράμετροι.

Πίνακας 5-1 Προτεινόμενα όρια για αυγά ελμίνθων και E.coli, σε μεγάλης κλίμακας συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού που προορίζονται για γεωργική επαναχρησιμοποίηση (Πηγή: WHO, 2006)

Όρια για το αποδεκτό πλήθος παθογόνων-δεικτών	Αυγά Ελμίνθων (Elminth eggs)	E.coli
	[Αριθμός ανά λίτρο (num/L)]	(Αριθμός ανά 100mL)
Περιορισμένη Άρδευση	$< 1/L$	$< 10^5$
Απεριόριστη άρδευση καρπών που καταναλώνονται ωμοί	$< 1/L$	$< 10^3$

Αυτές οι μειώσεις σε παθογόνα μπορούν να επιτευχθούν μέσω κατάλληλων μέτρων προστασίας της υγείας. Κάθε μέτρο θα προσφέρει τη δική του σχετική μείωση ή σειρά μειώσεων των λογαριθμικών μονάδων (log units) των παθογόνων. Ένας συνδυασμός των μέτρων αυτών θα πρέπει να χρησιμοποιείται με τέτοιον τρόπο, ώστε το άθροισμα των επιμέρους μειώσεων λογαριθμικών μονάδων των παθογόνων από κάθε μέτρο που λαμβάνεται, να προκύπτει ίσο με την απαιτούμενη συνολική μείωση των παθογόνων.

5.4 Μείωση Έκθεσης σε Παθογόνους Παράγοντες

Για να θεωρηθεί το γκρι νερό ασφαλές για επαναχρησιμοποίηση σε βασικές εφαρμογές (π.χ. άρδευση), εκτιμάται ότι είναι απαραίτητη μία μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών της τάξεως των 3-5 λογαριθμικών μονάδων (WHO, 2006). Η έκθεση σε παθογόνα μπορεί να αποφευχθεί είτε μειώνοντας την επαφή με το μολυσμένο νερό, είτε εφαρμόζοντας μέτρα για τη μείωση της περιεκτικότητας σε παθογόνα του μεταχειριζόμενου υλικού. Μερικά από τα προστατευτικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη μείωση της έκθεσης σε παθογόνους παράγοντες – με τη συνοδεία πάντοτε κατάλληλης αγωγής στη χρήση και σε θέματα καθημερινής υγιεινής – είναι τα εξής (WHO, 2006):

- Επεξεργασία του γκρι νερού

- Περιορισμένη Καλλιέργεια
- Κατάλληλη μεταχείριση γκρι νερού και τεχνικές εφαρμογής.
- Κατάλληλη ενδυμασία και εγκαταστάσεις υγιεινής για το εργατικό προσωπικό.
- Πρόβλεψη χρόνων παραμονής μεταξύ άρδευσης και συγκομιδής, για την εξάλειψη των παθογόνων.
- Κατάλληλα μέτρα προετοιμασίας της τροφής (πλύσιμο, απολύμανση, ξεφλούδισμα, μαγείρεμα, μείωση 1-6 logs).
- Ως προληπτικό μέσο μπορεί να αναφερθεί και κάποιος χρωματισμός (π.χ. πράσινος, μπλε) του επεξεργασμένου νερού για να διαφοροποιείται από το πόσιμο. (*Butler and Makropoulos, 2006*).

5.4.1 Επεξεργασία Γκρι Νερού

Με την επεξεργασία του γκρι νερού μπορεί να επιτευχθούν σημαντικές μειώσεις παθογόνων μικροοργανισμών, σε βαθμό εξαλείψεώς τους. Ο βαθμός της μείωσης εξαρτάται και από τη μέθοδο επεξεργασίας. Σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναλυτικότερη αναφορά των μεθόδων επεξεργασίας και του αντίστοιχου βαθμού αναβάθμισης της ποιότητας του γκρι νερού.

5.4.2 Περιορισμένη Καλλιέργεια

Το γκρι νερό σε γενικές γραμμές περιέχει μικρές ποσότητες κοπράνων. Ως εκ τούτου, συνήθως δεν απαιτείται περιορισμός της καλλιέργειας. Αν όμως περιέχει μεγάλες ποσότητες κοπράνων, τότε ίσως χρειαστεί περιορισμός της καλλιέργειας. Αυτό σημαίνει ότι θα επιλέγονται καλλιέργειες των οποίων οι καρποί είτε δεν χρησιμεύουν για τροφή (π.χ. βαμβάκι, καλλιέργειες βιοενέργειας, γρήγορα αναπτυσσόμενη ξυλεία), είτε προωθούνται για περαιτέρω επεξεργασία και δεν καταναλώνονται άμεσα (π.χ. σιτάρι), είτε θα πρέπει να μαγειρευτούν πριν καταναλωθούν.

5.4.3 Τεχνικές Εφαρμογής

Η τοπικά περιορισμένη άρδευση εκτιμάται ότι συνεισφέρει μια πρόσθετη μείωση παθογόνων 2-4 λογαριθμικών μονάδων (*WHO, 2006*). Η εναπόθεση θα πρέπει να γίνεται κοντά και εντός του εδάφους, ώστε όχι μόνο να περιορίζονται οι κίνδυνοι, αλλά και να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες χρήσιμων ουσιών για την ανάπτυξη των φυτών όπως το άζωτο.

Για το λόγο αυτό δεν συνίσταται η άρδευση με καταιονισμό. Αν το γκρι νερό περιέχει μεγάλες ποσότητες κοπρανώδους υλικού, αν η ανάπτυξη φορέων νόσων όπως κουνούπια είναι πιθανή, είτε αν δεν είναι δυνατή η εφαρμογή εγκατάστασης επεξεργασίας, τότε η οριζόντια άρδευση κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στη ριζική ζώνη επιλεγμένων καλλιεργειών, είναι μια καλή επιλογή. Ένα ζητούμενο είναι να αποφεύγεται ο περισυλλεγόμενος καρπός να έρχεται σε επαφή με το έδαφος.

5.4.4 Εργάτες στα Αγροκτήματα-Γεωργοί

Οι εργάτες εκτίθενται σε μεγάλο βαθμό και διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο μόλυνσης. Ένα βασικό μέτρο για την αποφυγή των κινδύνων είναι η ένδυση με κατάλληλα ρούχα (π.χ. μπότες, γάντια για γεωργούς). Επίσης, σημαντική είναι η εύκολη πρόσβαση – ιδιαίτερα για

τις μεγάλης κλίμακας εφαρμογές – σε εγκαταστάσεις υγιεινής και σε πόσιμο νερό, τόσο για την πόση όσο και για λόγους υγιεινής. Η μείωση της έκθεσης σε παθογόνα από τα μέτρα αυτά δεν γνωρίζουμε να έχει μετρηθεί, όμως εκτιμάται ότι συνεισφέρουν σε αυτή τη μείωση σε σημαντικό βαθμό.

5.4.5 Το Χρονικό Διάστημα Αναμονής

Πρόκειται για το χρονικό διάστημα παραμονής μεταξύ της απόθεσης του αρδευτικού νερού στο έδαφος μέχρι την συγκομιδή. Το χρονικό αυτό διάστημα όπως και αυτό που έπεται της συγκομιδής μέχρι την κατανάλωση είναι σημαντικό διότι κατά τη διάρκειά του μειώνεται ο αριθμός των παθογόνων, άρα και ο κίνδυνος. Το γκρι νερό βέβαια περιέχει μικρές συγκεντρώσεις κοπρανώδους υλικού (σε σύγκριση με τα μεικτά λύματα) άρα και παθογόνων σε αυτό.

Ενδεικτικά, όσον αφορά τη διάθεση περιττωμάτων (όχι γκρι νερού), σε ζεστές και ξηρές κλιματικές συνθήκες όπου καταστρέφονται τα παθογόνα με πιο ταχείς ρυθμούς, μπορεί να παρατηρηθεί ρυθμός εξάλειψης 0.5 λογαριθμικών μονάδων ανά ημέρα. Με πιο συντηρητικές εκτιμήσεις η μείωση αυτή είναι τουλάχιστον 4 λογαριθμικές μονάδες κατά τη διάρκεια ενός μήνα, αλλά υπάρχει πιθανότητα να παραμένουν αυγά ελμίνθων για παράδειγμα μέχρι και δύο μήνες, αν και τα περισσότερα καταστρέφονται εντός 30 ημερών (WHO, 2006).

5.4.6 Έλεγχος Εκθέσεως μετά τη Συγκομιδή

Σχολαστικό πλύσιμο με νερό της βρύσης των καρπών με αδρή επιφάνεια (π.χ. μαρούλι, μαϊντανός) και των λαχανικών που τρώγονται ωμά, μειώνει τα βακτήρια κατά τουλάχιστον 1 λογαριθμική μονάδα. Για καρπούς με λεία επιφάνεια (π.χ. αγγούρια, ντομάτες) η μείωση είναι περίπου 2 λογαριθμικές μονάδες. Πλύσιμο με κάποιο απολυμαντικό διάλυμα (συνήθως υποχλωριώδες διάλυμα) και ξέβγαλμα με νερό της βρύσης μπορεί να μειώσει τα παθογόνα κατά 1-2 λογαριθμικές μονάδες. Το ξεφλούδισμα των φρούτων και των λαχανικών ρίζας μειώνει τα παθογόνα τουλάχιστον κατά 2 λογαριθμικές μονάδες. Το μαγείρεμα λαχανικών επιτυγχάνει κατ' ουσίαν πλήρη μείωση παθογόνων, δηλαδή κατά 5-6 λογαριθμικές μονάδες (WHO, 2006).

Τα αυγά ελμίνθων – για παράδειγμα που είναι από τα πιο ανθεκτικά παθογόνα – είναι αρκετά κολλώδη κι έτσι προσκολλούνται σχετικά εύκολα στις επιφάνειες των καρπών. Το διάλυμα όμως του απορρυπαντικού τα αποδεσμεύει από τον καρπό. Έτσι, το πλύσιμο καρπών που καταναλώνονται ωμά (π.χ. φύλλα μαρουλιού) με ένα διάλυμα απορρυπαντικού (π.χ. υγρό πιάτων), ακολουθούμενο με ξέβγαλμα με νερό της βρύσης, μπορεί να μειώσει τα αυγά ελμίνθων στην επιφάνεια των καρπών κατά 1-2 λογαριθμικές μονάδες.

Οι μειώσεις αυτές είναι πολύ αξιόπιστες και θα πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψιν, κατά την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού για την επεξεργασία του γκρι νερού και των υπόλοιπων μέτρων ελέγχου. Απαιτούνται αποτελεσματικά επιμορφωτικά προγράμματα υγιεινής και προώθησης, ώστε να ενημερωθούν οι τοπικοί παράγοντες που σχετίζονται και μεταχειρίζονται τις τροφές αυτές (άνθρωποι των αγορών τροφίμων, των εστιατορίων και στα νοικοκυριά). Να ενημερωθούν αναλυτικά ως προς τον τρόπο και το λόγο που θα πρέπει να

πλένουν αποτελεσματικά τα αρδευόμενα με γκρι νερό προϊόντα, χρησιμοποιώντας νερό και διαλύματα απολύμανσης ή απορρύπανσης (*WHO, 2006*).

Στον Πιν Α-15 (του Παραρτήματος) παρουσιάζονται κάποιες εφικτές μειώσεις παθογόνων με διάφορα μέτρα προστασίας της υγείας, όπως η επεξεργασία γκρι νερού, η αναμονή φυσικής εξάλειψης των παθογόνων με το πέρασμα του χρόνου αφού γίνει η άρδευση με γκρι νερό, η πλύση των καρπών με νερό, η χρήση ήπιου απορρυπαντικού διαλύματος, το ξεφλούδισμα των καρπών και το μαγείρεμα.

5.5 Όρια Επαναχρησιμοποίησης Μεικτών Λυμάτων

Πολύ λίγες είναι οι οδηγίες που έχουν συνταχθεί για την επαναχρησιμοποίηση ειδικά γκρι νερού. Συνήθως αυτές επικεντρώνονται σε υγειονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες και συχνά θεσμοθετούνται από τις τοπικές αρχές.

Ωστόσο, κάποια όρια έχουν θεσμοθετηθεί για την επαναχρησιμοποίηση των μεικτών λυμάτων, τα οποία διαφέρουν μεταξύ κρατών. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε διαφορετικές ανάγκες, σε διαφορετικές χρήσεις και σε διαφορετικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Πρόσφατα, το 2004 και το 2001, δημοσιεύτηκαν οι αναθεωρημένες οδηγίες της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA) και της Καλιφόρνια (State of California) αντιστοίχως, οι οποίες δίδουν κυρίως έμφαση σε χρήσεις όπως, η άρδευση, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και η έμμεση πόσιμη χρήση. Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε τέτοια αντικείμενα δυστυχώς παραμένει ουραγός. Καμιά σχετική Οδηγία δεν έχει συνταχθεί για τους μη συμβατικούς υδατικούς πόρους. Τα τελευταία έτη οι Δ/ντές Νερού της Μάλτας, της Κύπρου και άλλων Μεσογειακών χωρών άρχισαν να εισηγούνται και να ζητούν επιτακτικά σε αρμόδια συμβούλια της Ευρωπαϊκής Ένωσης να θεωρηθούν οι μη συμβατικοί υδατικοί πόροι ως η βέλτιστη λύση αντιμετώπισης της ξηρασίας τουλάχιστον για αστικές περιοχές (*Παρανυχιανάκης κ.α., 2009*). Μόλις από το Μάρτιο του 2011, έχουν πλέον ψηφιστεί – ως νόμος του ελληνικού κράτους – «καθορισμένα μέτρα, όροι και διαδικασίες για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων» (*ΦΕΚ, 2011*).

Οι *Li et al. (2009)* παραθέτουν έναν συγκεντρωτικό πίνακα (*Πιν Α-16*, του Παραρτήματος) με όρια επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, για χρήσεις αρδευτικές, διάθεσης σε υδάτινους δέκτες και για το καζανάκι της τουαλέτας και έχουν συγκεντρωθεί από κανονισμούς διάφορων κρατών (Γερμανία, Κίνα, ΗΠΑ, Ιαπωνία, Αυστραλία). Γίνεται ακόμα ένας ομαδοποιημένος διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης εφαρμογής. Στην απεριόριστη εφαρμογή συμπεριλαμβάνονται οι χρήσεις της έκπλυσης της λεκάνης της τουαλέτας, η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και το πλύσιμο του αυτοκινήτου. Στην περιορισμένη εφαρμογή συμπεριλαμβάνεται η άρδευση χώρων χαμηλής επισκεψιμότητας, όπως ελεγχόμενα γήπεδα γκολφ και κοιμητήρια.

5.6 Όρια Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού

Οι *Li et al. (2009)*, βασισμένοι σε άλλες μελέτες, προτείνουν κάποια όρια για την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού, για μη πόσιμη χρήση, για περιορισμένη και για μη περιορισμένη άρδευση (*Πιν Α-17*, του Παραρτήματος). Προφανώς τα όρια για περιορισμένη άρδευση είναι χαμηλότερων ποιοτικών απαιτήσεων. Σημαντικό στοιχείο για τα όρια αυτά

είναι ότι εκτός από μικροβιακούς παράγοντες (κολοβακτηριοειδή), περιλαμβάνουν και φυσικούς και χημικούς παράγοντες όπως θολότητα, TSS, BOD₅, συγκεντρώσεις απορρυπαντικού, TN και TP.

Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι για μη περιορισμένη αστική και αρδευτική χρήση προτείνονται τα όρια του Πίνακα 5-2. Μεταξύ άλλων, στις επιτρεπόμενες χρήσεις συμπεριλαμβάνονται η εφαρμογή στο καζανάκι της τουαλέτας, το πλύσιμο των ρούχων, η εφαρμογή στην οικοδομή, και η επιφανειακή άρδευση καλλιεργειών φρούτων και λαχανικών, που καταναλώνονται ακόμα και χωρίς να απαιτείται περαιτέρω φροντίδα (π.χ. ξεφλούδισμα, μαγείρεμα)

Πίνακας 5-2 Προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού για μη περιορισμένη αστική και αρδευτική χρήση (Πηγή: *Li et al., 2009*).

BOD ₅	≤ 10 mg/L
Θολότητα	≤ 2 NTU
pH	6-9
Faecal coliform	≤ 10/mL
Total coliforms	≤ 100/mL
Residual Chlorine	≤ 1 mg/L

5.7 Ανακεφαλαίωση

Το κεφάλαιο τούτο ξεκινάει με μια αναφορά στην εκτίμηση των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον, από την εφαρμογή συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού, κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς. Οι βασικοί κίνδυνοι για την υγεία εντοπίζονται στη μόλυνση από παθογόνους μικροοργανισμούς. Η έκθεση σε αυτούς μπορεί να γίνει είτε με άμεση επαφή, είτε με εισπνοή αερολυμάτων, είτε με την κατανάλωση μολυσμένων καρπών, αλλά μπορεί να προκληθεί και από κουνούπια που ενδέχεται να αναπτυχθούν.

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές εστιάζονται κυρίως στις μεταβολές της ποιότητας του εδάφους. Μεταξύ των μεγεθών που εξετάζονται είναι η εδαφική αλατότητα (salinity), η αναλογία προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio, SAR), το περιεχόμενο σε οργανική ύλη, το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC. Σε γενικές γραμμές δεν φαίνεται να επηρεάζονται αρνητικά και κατά έντονο τρόπο τα εδαφικά χαρακτηριστικά, από τη διάθεση γκρι νερού, ωστόσο έχουν εκφραστεί ανησυχίες για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις και συγκεκριμένα για την πρόκληση υδροφοβικών ιδιοτήτων στο έδαφος, αρνητικών συνεπειών στη διαπερατότητά του και την πρόκληση μείωσης της παραγωγικότητάς του. Ωστόσο, έχει φανεί ότι μία καλή μέθοδος αντιμετώπισης του κινδύνου αυτού είναι η εναλλάξ εφαρμογή-διάθεση γκρι και πόσιμου νερού.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιοι στόχοι που τίθενται για τη δημόσια υγεία, που μας οδηγούν σε ποιοτικούς στόχους καταλληλότητας του νερού πριν την επαναχρησιμοποίησή του. Ως αποδεκτό όριο ορίζονται τα (<) 10⁻⁶ DALY ανά άτομο ανά έτος. Με βάση αυτό το στόχο εκτιμάται ότι στο γκρι νερό είναι επιθυμητή μία μείωση των παθογόνων κατά 4-5 λογαριθμικές μονάδες. Τα βακτήρια και οι ιοί είναι πιθανό να διαπερνούν το φυσικό

εδαφικό φίλτρο και να μολύνουν και το υπόγειο νερό, ενώ για τα πρωτόζωα και τους έλμινθες αυτό είναι δυσκολότερο. Ένας τακτικά χρησιμοποιούμενος βακτηριακός δείκτης είναι ο αριθμός των E.coli. Για άρδευση περιορισμένων καλλιεργειών έχει προταθεί ως όριο τα 10^5 ανά 100 mL, ενώ για απεριόριστη καλλιέργεια τα 10^3 ανά 100 mL.

Μερικά από τα προστατευτικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν, για τη μείωση της έκθεσης σε παθογόνους παράγοντες, είναι η επεξεργασία του νερού, η εφαρμογή του γκρι νερού σε περιορισμένες χρήσεις (όπου είναι λιγότερο τακτική και μικρότερου βαθμού η επαφή του ανθρώπου με το νερό), οι κατάλληλες τεχνικές εφαρμογές όπως η άρδευση απευθείας στο ριζικό σύστημα, η κατάλληλη ενδυμασία και οι εγκαταστάσεις υγιεινής για το εργατικό προσωπικό, η πρόβλεψη χρόνων παραμονής μεταξύ άρδευσης και συγκομιδής, για την εξάλειψη των παθογόνων και η κατάλληλη προετοιμασία της τροφής πριν την κατανάλωση, για παράδειγμα το καλό πλύσιμο, η απολύμανση, το ξεφλούδισμα, το μαγείρεμα. Ακόμη, το γκρι νερό μπορεί να χρωματίζεται, ώστε να καθίσταται σχεδόν απίθανη η σύγχυση του γκρι νερού με το πόσιμο.

Ανάμεσα σε διάφορα όρια που έχουν αναφερθεί, για την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού σε μη περιορισμένες χρήσεις έχουν προταθεί ως όρια τα εξής: $BOD_5 \leq 10$ mg/L, Θολότητα ≤ 2 NTU, pH 6-9, Faecal coliform (κοπρανώδη κολοβακτηρίδια) ≤ 10 /mL, Total coliforms (ολικά κολοβακτηρίδια) ≤ 100 /mL, Residual Chlorine ≤ 1 mg/L.

Επεξεργασία Γκρι Νερού: Μέθοδοι και Αποτελέσματα

[Το παρόν κεφάλαιο είναι αποτελεί κατά το μεγαλύτερο κομμάτι, μέρος της δημοσίευσης Li et al. (2009), από όπου αντλούνται και οι περισσότερες αναφορές]

Οι τεχνολογίες που υιοθετούνται για την επεξεργασία γκρι νερού περιλαμβάνουν φυσικά, χημικά και βιολογικά συστήματα. Στις περισσότερες από τις λύσεις που προτείνονται, προηγείται ένα βήμα διαχωρισμού των στερεών από το υγρό μέρος των αποβλήτων γκρι νερού. Το βήμα αυτό είναι ένα βήμα προεπεξεργασίας. Συνηθίζεται ακόμα να υπάρχει και ένα βήμα μετεπεξεργασίας και περιλαμβάνει την απολύμανση της επεξεργαζόμενης εκροής. Η προεπεξεργασία στοχεύει κυρίως στην αποφυγή της έμφραξης του συστήματος επεξεργασίας που έπεται. Μπορεί να περιλαμβάνει σηπτικές δεξαμενές, είτε σάκους διύλισης (filter bags), κόσκινα-εσχάρες (screen) ή φίλτρα (filters), στοχεύοντας να μειώσει τις ποσότητες των σωματιδίων, των λιπών και των ελαίων. Το βήμα της απολύμανσης στοχεύει στην επίτευξη των μικροβιολογικών απαιτήσεων (Li et al., 2009).

Βεβαίως, εκτός των προαναφερθέντων συστημάτων υπάρχουν και μικρής εμβέλειας συστήματα, που αποθηκεύουν το νερό για μικρό χρονικό διάστημα χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία και το διαθέτουν για πιο περιορισμένη εφαρμογή. Για παράδειγμα υπάρχουν διατάξεις που εφαρμόζονται σε επίπεδο δωματίου - στο μπάνιο - κι επιτρέπουν την αποθήκευση του νερού της ντουζιέρας για περιορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να χρησιμοποιηθεί για το καζανάκι της τουαλέτας. Τέλος, υπάρχει και η επιλογή της απευθείας διάθεσης του γκρι νερού, δηλαδή χωρίς καμία επεξεργασία, η οποία επιλογή περιορίζει βεβαίως ακόμα περισσότερο τις δυνατότητες χρήσης του (Parkes et al., 2010).

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα των ποιοτικών χαρακτηριστικών που βρέθηκαν εφαρμόζοντας διάφορες μεθόδους είτε φυσικής, είτε χημικής, είτε βιολογικής επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στο τέλος του κεφαλαίου σε τρεις πίνακες (Πίνακας 6-1, Πίνακας 6-2, Πίνακας 6-3). Στο Σχήμα 6-1 παρουσιάζονται και τα βασικά στάδια εναλλακτικών επιλογών για την επεξεργασία του γκρι νερού, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του.

6.1 Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας

Τα συστήματα φυσικής επεξεργασίας μπορεί να περιλαμβάνουν χονδρή άμμο, εδαφική διήθηση, είτε τη διύλιση μέσω μεμβρανών, ενώ ακολουθούνται συνήθως από ένα βήμα απολύμανσης.

Το χονδρό φίλτρο από μόνο του έχει λιγοστή επίδραση στην απομάκρυνση των ρύπων που υπάρχουν στο γκρι νερό. Σε μια εφαρμογή επεξεργασίας γκρι νερού από το μπάνιο, χαμηλής δυναμικότητας, όπου έγινε χρήση ενός φίλτρου «τύπου κάλτσας» από νάιλον (nylon sock type filter) και ακολουθούμενη από ένα βήμα επικάθισης κι ένα βήμα απολύμανσης, το COD, η θολότητα (turbidity), τα αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids) και το ολικό άζωτο (TN) μειώθηκαν από 171 mg/L, 20 NTU, 44 mg/L και 11,4 mg/L, που ήταν

οι τιμές ποιότητας της εισροής, σε 78 mg/L, 16,5 NTU, 18,6 mg/L και 7,1 mg/L ποιότητα εκροής αντιστοίχως. Υποστηρίχθηκε επίσης ότι η ποιότητα αυτή νερού θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί στο καζανάκι της τουαλέτας για τον καθαρισμό της, εφόσον ικανοποιούνται κάποιες προϋποθέσεις όπως ο χρόνος αποθήκευσης να είναι < 48 h και η συγκέντρωση χλωρίου εντός της δεξαμενής της τουαλέτας να είναι > 1 mg/L (March et al., 2004).

Σε μια άλλη μελέτη όπου χρησιμοποιήθηκε κεκλιμένο εδαφικό φίλτρο (slanted soil filter), καταγράφηκε μια μείωση των COD, BOD, SS, του ολικού αζώτου (TN) και του ολικού φωσφόρου (TP) του νερού του νεροχύτη της κουζίνας από 271 mg/L, 477 mg/L, 105 mg/L, 20,7 mg/L και 3,8 mg/L, σε 40,6 mg/L, 81 mg/L, 23 mg/L, 4,4 mg/L και 0,6 mg/L αντιστοίχως. Τα κύρια συστατικά του εδάφους ήταν οξείδιο του αργιλίου (alumina) και ένυδρο διοξείδιο πυριτίου (hydrated silica). Το σύστημα εδαφικής επεξεργασίας κατάφερε σε κάποιο βαθμό να απομακρύνει οργανικούς ρύπους και ρύπους ολικού φωσφόρου. Το άζωτο εξαλείφθηκε αποτελεσματικά λόγω των διεργασιών νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Το εδαφικό φίλτρο σε αυτήν τη μελέτη δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μεμονωμένο φίλτρο, αλλά συνδυασμός φίλτρου και βιοαποικοδόμησης (Itayama et al., 2006).

Και στις δύο παραπάνω μελέτες η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής δεν ικανοποιούσε τα κριτήρια που έχουμε προαναφέρει σε αυτήν την εργασία, λόγω υψηλού οργανικού φορτίου, είτε υψηλών τιμών TSS. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να μειώσουν και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας απολύμανσης εξαιτίας της δημιουργίας παραπροϊόντων από την απολύμανση. Ακόμα, ο συνδυασμός φίλτρων άμμου με ενεργό άνθρακα και με απολύμανση δεν έχει δείξει αξιόλογη μείωση των αιωρούμενων στερεών (μείωση των TSS κατά 48%) και της θολότητας (μείωση κατά 61%). Σημειώθηκε πάντως μια ικανοποιητική απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών (Li et al., 2009).

Σε μια εργασία (Birks, 1998) όπου χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού μέσης δυναμικότητας με UF (ultrafiltration) μεμβράνες, αναφέρθηκε μια μείωση των COD και BOD από 451 mg/L και 274 mg/L σε 117 mg/L και 53 mg/L αντιστοίχως. Οι Li et al. (2008) δημοσίευσαν ότι η απευθείας διήθηση μέσω UF μεμβρανών (direct UF membrane filtration system) μείωσε τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) από 161 mg/L σε 28,6 mg/L. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι κάποια διαλυμένα θρεπτικά στοιχεία όπως αμμωνία και φώσφορος μπορούν και περνούν μέσα από τις μεμβράνες UF. Οι ποσότητες ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου στο διήθημα ήταν 16,7 mg/L και 6,7 mg/L αντιστοίχως, δηλαδή αρκετά πάνω από τα προαναφερθέντα όρια. Πάντως η θολότητα ήταν μικρή (<1 NTU), οι ποσότητες αιωρούμενων στερεών και E.coli μηδαμινές και η φυσική εμφάνιση ήταν εξαιρετική. Όσον αφορά το συγκρατούμενο από τις μεμβράνες υλικό, αυτό μπορεί να επεξεργασθεί μαζί με το μαύρο νερό και τα απόβλητα της κουζίνας με αναερόβια χώνευση σε επόμενο στάδιο, για την παραγωγή βιοαερίου και λιπάσματος από κομποστοποίηση (compost). Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα παίζει βεβαίως και το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών. Για παράδειγμα μεμβράνες νανοδιήθησης και μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis) μειώνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό το οργανικό υλικό (Li et al., 2009).

Ένα σύστημα που έχει επιτύχει τα προτεινόμενα όρια για την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού περιελάμβανε φίλτρο άμμου, μεμβράνες διήθησης και απολύμανση και ερευνήθηκε από τον Ward (2000). Αξίζει να σημειωθεί, όμως, ότι τα μεγέθη οργανικού υλικού και της θολότητας του γκρι νερού της εισροής ήταν πολύ χαμηλά.

Σε επίπεδο μικροβιολογικής απομάκρυνσης θεωρούνται ικανοποιητικά τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με μεμβράνες. Παρόλα αυτά, οι υψηλές ποσότητες οργανικών ουσιών που μπορεί να παραμείνουν στο επεξεργασμένο νερό συχνά προκαλούν την περαιτέρω ανάπτυξη των μικροοργανισμών στο σύστημα αποθήκευσης και μεταφοράς. Οι συνήθεις παράγοντες που περιορίζουν την οικονομική βιωσιμότητα των μεμβρανών διήθησης είναι η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και η δυσσομία των μεμβρανών, η οποία συνεπάγεται και αυξημένες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης. Τα συστήματα φυσικής επεξεργασίας γκρι νερού, γενικώς, δεν θεωρούνται επαρκή από μόνα τους για την παραγωγή της επιθυμητής ποιότητας - επαναχρησιμοποιήσιμου - νερού.

6.2 Συστήματα Χημικής Επεξεργασίας

Οι χημικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία γκρι νερού περιλαμβάνουν κροκίδωση, φωτοκαταλυτική οξειδωση, ανταλλαγή ιόντων και κοκκώδη ενεργό άνθρακα.

Η ηλεκτρική κροκίδωση ακολουθούμενη από ένα βήμα απολύμανσης, έδειξε σε μια μελέτη (Lin et al., 2005) να μειώνει στο γκρι νερό τις τιμές BOD, COD, της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών (SS) από 55 mg/L, 23 mg/L, 43 NTU και 29 mg/L σε 22 mg/L, 9 mg/L, 4 NTU και 9 mg/L αντιστοίχως. Δεν ανιχνεύτηκαν ολικά κολοβακτηριοειδή στο ανακτώμενο γκρι νερό και η ποιότητα βρέθηκε να πληροί τα κριτήρια που προτείνονται για την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού στην εργασία αυτή. Όμως το εισερχόμενο στο σύστημα επεξεργασίας γκρι νερό περιείχε μικρή ποσότητα οργανικού υλικού.

Σε μία άλλη μελέτη (Pidou et al., 2008) χρησιμοποιήθηκαν οι διαδικασίες της κροκίδωσης και της μαγνητικής ανταλλαγής ιόντων με ρητίνη για την επεξεργασία του γκρι νερού από την ντουζιέρα. Οι αρχικές τιμές COD, BOD, θολότητας, ολικού αζώτου (TN) και φωσφορικών ιόντων PO_4^{3-} ήταν 791 mg/L, 205 mg/L, 46,6 NTU, 18 mg/L και 1,66 mg/L.

Σε ιδανικές συνθήκες, η κροκίδωση με άλας αργιλίου μείωσε τις τιμές COD, BOD, της θολότητας, του ολικού αζώτου (TN) και των φωσφορικών ιόντων PO_4^{3-} σε 287 mg/L, 23 mg/L, 4,28 NTU, 15,7 mg/L και 0,09 mg/L αντιστοίχως. Τα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα E.coli, και οι κοπρανώδεις εντερόκοκκοι στο ανακτώμενο νερό ήταν όλα λιγότερο από 1/(100 ml). Βλέπουμε ότι η τιμή του BOD είναι μικρότερη από 30 mg/L. Ανάλογα ήταν και τα αποτελέσματα της κροκίδωσης με σιδηρικό άλας.

Με τη διαδικασία της μαγνητικής ανταλλαγής ιόντων με ρητίνη οι τιμές COD, BOD, της θολότητας, του ολικού αζώτου (TN) και των φωσφορικών ιόντων PO_4^{3-} μειώθηκαν σε 272 mg/L, 33 mg/L, 8,14 NTU, 15,3 mg/L και 0,91 mg/L αντιστοίχως, που σημαίνει ότι δεν επιτεύχθηκε η επιθυμητή μείωση του BOD και της θολότητας. Στο ανακτώμενο νερό, τα ολικά κολοβακτηριοειδή ήταν 59/(100ml), τα E.coli 8/(100ml) και οι κοπρανώδεις εντερόκοκκοι λιγότεροι από 1/(100ml). Οι διαδικασίες της κροκίδωσης και αυτή της

μαγνητικής ανταλλαγής ιόντων με ρητίνη έχουν ελάχιστα αποτελέσματα στην απομάκρυνση του ολικού αζώτου TN και των φωσφορικών ιόντων PO₄³⁻.

Για την επεξεργασία γκρι νερού χαμηλής δυναμικότητας από το πλυσταριό συνδυάστηκε κροκίδωση, φίλτρο άμμου και κοκκώδης ενεργός άνθρακας (*Sostar-Turk et al., 2005*). Αυτό το σύστημα μείωσε τις τιμές COD, BOD και των αιωρούμενων στερεών από 280 mg/L, 195 mg/L και 35 mg/L σε 20 mg/L, 10 mg/L και λιγότερο από 5 mg/L αντιστοίχως. Τα αποτελέσματα αυτά της επεξεργασία κρίνονται ικανοποιητικά, ενώ μόνο στο στάδιο της κροκίδωσης επιτεύχθηκε το 51% της συνολικής μείωσης του BOD και το 100% της συνολικής μείωσης των αιωρούμενων στερεών.

Με μια προηγμένη διαδικασία οξειδωσης, που βασίστηκε σε φωτοκαταλυτική οξείδωση με διοξείδιο του τιτανίου και υπεριώδη ακτινοβολία UV (ultraviolet), για την επεξεργασία γκρι νερού, σημειώθηκε 90% μείωση του οργανικού υλικού και μείωση κατά 6 λογαριθμικές μονάδες των ολικών κολοβακτηριοειδών (*Parsons et al. 2000*).

6.3 Συστήματα Βιολογικής Επεξεργασίας

Υπάρχει σχετικά μεγάλο πλήθος διαδικασιών βιολογικής επεξεργασίας γκρι νερού που έχει εφαρμοστεί. Ανάμεσα σε αυτές είναι οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί επαφείς ή αλλιώς βιολογικοί δίσκοι - RBC (rotating biological contactor), οι αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας SBR (sequencing batch reactor), οι αναερόβιοι αντιδραστήρες ανοδικής ροής τύπου UASB (upflow anaerobic sludge blanket), τεχνητοί υγρότοποι CW (constructed wetland) και οι βιολογικοί αντιδραστήρες με μεμβράνη MBR (membrane bioreactors). Συχνά προηγείται των βιολογικών διεργασιών ένα φυσικό σύστημα ως προεπεξεργασία, όπως για παράδειγμα η καθίζηση, η χρήση σηπτικών δεξαμενών (septic tanks), ή κόσκινα-εσχάρες (screening). Εκτός από τους βιολογικούς αντιδραστήρες MBR, στα περισσότερα συστήματα βιολογικής διεργασίας έπεται ένα στάδιο διήθησης (για παράδειγμα φίλτρο άμμου) ή/και ένα στάδιο απολύμανσης, ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά όρια για την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού (*Li et al. 2009*).

Οι *Friedler et al. (2005)* μελέτησαν ένα σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού χαμηλής δυναμικότητας, το οποίο συνδύαζε βιολογικούς δίσκους RBC, φίλτρο άμμου και χλωρίωση. Του σταδίου των δίσκων RBC προηγείτο λεπτό κόσκινο-εσχάρωση για την απομάκρυνση χονδρών στερεών και τριχών μεγαλύτερων από 1 mm. Το στάδιο RBC συνόδευε ακολούθως κι ένα στάδιο καθίζησης για το διαχωρισμό της ιλύος. Ως αποτέλεσμα αναφέρθηκε μείωση των TSS, της θολότητας, COD, BOD και των κοπρανωδών κολοβακτηριοειδών από 43 mg/L, 33 NTU, 158 mg/L, 59 mg/L και $5,6 \times 10^5 / (100 \text{ ml})$ σε 16 mg/L, 1,9 NTU, 46 mg/L, 6,6 mg/L και $9,7 \times 10^3 / (100 \text{ ml})$ αντιστοίχως, στα λύματα από τη λεκάνη καθιζήσεως. Έπειτα, η διεργασία της διήθησης σε φίλτρο άμμου οδήγησε σε περαιτέρω μείωση των TSS, της θολότητας, COD και BOD σε 7,9 mg/L, 0,61 NTU, 40 mg/L και 2,3 mg/L αντιστοίχως. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή αυξήθηκαν έπειτα από το στάδιο της διήθησης από το φίλτρο άμμου από $9,7 \times 10^3 / (100 \text{ ml})$ σε $5,2 \times 10^4 / (100 \text{ ml})$. Όμως τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή μειώθηκαν σε $0,1 / (100 \text{ ml})$ αφότου το νερό πέρασε από το στάδιο της απολύμανσης. Ακόμη, αναφέρθηκαν ικανοποιητικές μειώσεις των τιμών ολικού φωσφόρου (TP), του Ολικού Kjeldhal αζώτου (TKN), της αμμωνίας και του οργανικού αζώτου από 4,8 mg/L, 8,1 mg/L, 4,9 mg/L και 3,2 mg/L σε 2 mg/L, 1 mg/L, 0,16 mg/L και 0,97

mg/L αντιστοίχως. Τα αποτελέσματα αυτά επιτυγχάνουν τα όρια για τη μη περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού που προτείνονται στην εργασία αυτή.

Ο *Nolde (1999)* μελετά επίσης ένα σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού με βιολογικούς δίσκους RBC, που αποτελείται από μια δεξαμενή καθίζησης, ακολουθούμενη από δίσκους RBC τεσσάρων επιπέδων και ένα τελικό στάδιο απολύμανσης με ακτινοβολία UV. Η τιμή του BOD₇ μειώθηκε από τα επίπεδα των 50-250 mg/L σε τιμές χαμηλότερες από 5 mg/L από το στάδιο της βιολογικής διεργασίας. Έπειτα και από την απολύμανση με ακτινοβολία UV η ποιότητα της εκροής σε βακτηριοειδή ως επί το πλείστον ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις των προτεινόμενων κανονισμών.

Οι *Eriksson et al. (2007)* αναφέρουν ένα παρόμοιο συνδυασμό συστημάτων επεξεργασίας γκρι νερού χαμηλής δυναμικότητας, που αποτελείται από μία δεξαμενή καθίζησης, που χρησιμεύει και για την εξισορρόπηση της ροής, από τρεις περιστρεφόμενους βιολογικούς επαφείς (RBC) σε σειρά και ακολουθούν δευτεροβάθμια καθίζηση, φίλτρο άμμου και επεξεργασία με ακτινοβολία UV. Ως πηγή του γκρι νερού ήταν η ντουζιέρα και ο νιπτήρας από το μπάνιο 84 διαμερισμάτων και το επεξεργασμένο νερό χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό της τουαλέτας, δηλαδή στο καζανάκι. Οι τιμές των COD, BOD, TOC, της αμμωνίας NH₄-N και του ορθοφωσφορικού άλατος μειώθηκαν από 142 mg/L, 93 mg/L, 72 mg/L, 5,2 mg/L και 0,66 mg/L σε 25 mg/L, 6 mg/L, 13 mg/L, 0,031 mg/L και 0,26 mg/L αντιστοίχως. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι τα μεγέθη COD, BOD και TOC αυξήθηκαν από το στάδιο όπου εξέρχονταν από το φίλτρο άμμου προς το στάδιο της απολύμανσης, όπου ήταν 20 mg/L, 1,6 mg/L και 0,5 mg/L αντιστοίχως, ώσπου κατέληξαν στην τελική εκροή, όπου όπως προαναφέραμε ήταν 25 mg/L, 6 mg/L και 13 mg/L αντιστοίχως. Στη μελέτη αυτή φάνηκε ότι οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί επαφείς RBC μπορούν να μειώσουν το BOD σε επίπεδα μικρότερα των 5 mg/L.

Ένας αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας SBR χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των *Hernandez et al. (2008)*. Ο χρόνος κατακράτησης της ιλύος (Sludge Retention Time) καθορίστηκε στις 15 ημέρες και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (Hydraulic Retention Time) καθορίστηκε στις 11,7 ώρες. Οι τιμές COD, TP, TN και η αμμωνία μειώθηκαν από 830 mg/L, 7,7 mg/L, 53,6 mg/L και 1,2 mg/L, σε 91 mg/L, 6,5 mg/L, 34,4 mg/L και 0,41 mg/L αντιστοίχως. Στην ίδια εργασία, ένας άλλος αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας μελετήθηκε με το χρόνο κατακράτησης της ιλύος να αυξάνεται σε 378 ημέρες και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής να μειώνεται στις 5,9 ώρες. Οι τιμές COD, TP, TN και η αμμωνία μειώθηκαν από 827 mg/L, 8,5 mg/L, 29,9 mg/L και 0,8 mg/L σε 100 mg/L, 5,8 mg/L, 26,5 mg/L και 0,44 mg/L αντιστοίχως. Το οργανικό άζωτο στις δύο προαναφερθείσες εκροές ήταν το 90% και 74% επί του ολικού αζώτου TN. Φαίνεται δηλαδή, ότι η αμμωνιοποίηση του οργανικού σωματιδιακού αζώτου κατά την αερόβια επεξεργασία ήταν περιορισμένη. Η μελέτη αυτή ακόμη κατέδειξε 97% απομάκρυνση ανιονικών επιφανειοδραστικών από την αερόβια αποικοδόμηση.

Ένας αναερόβιος αντιδραστήρας ανοδικής ροής τύπου UASB (upflow anaerobic sludge blanket) τέθηκε από τους *Elmitwalli et al. (2007)* σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για την επεξεργασία μεικτού γκρι νερού. Η μελέτη κατέδειξε ότι η συνεχής λειτουργία σε υδραυλικούς χρόνους παραμονής των 20, 12 και 8 ωρών μείωσε κατά 31-41% το ολικό COD,

κατά 24-36% το ολικό άζωτο TN και κατά 10-24% τα επίπεδα ολικού φωσφόρου. Οι *Hernandez et al. (2008)* μελέτησαν επίσης έναν αντιδραστήρα τύπου UASB σε θερμοκρασία λειτουργίας 35 °C. Υπολογίστηκε ότι με το σύστημα αυτό μπορούν να εξαλειφθούν περίπου το 50% του ολικού COD και το 24% των ανιονικών επιφανειοδραστικών, με υδραυλικούς χρόνους παραμονής (Hydraulic Retention Time) 7 ωρών και 12,5 ωρών.

Ο τεχνητός υγρότοπος (Constructed Wetland) έχει θεωρηθεί ως η περισσότερο φιλική περιβαλλοντικά και αποδοτική οικονομικά τεχνολογία, για την επεξεργασία γκρι νερού. Στη μελέτη των *(Gross et al., 2007)* εφαρμόστηκε ένας ανακυκλούμενος τεχνητός υγρότοπος κατακόρυφης ροής (Recycled Vertical Flow Constructed Wetland) για την επεξεργασία μεικτού γκρι νερού υψηλής δυναμικότητας. Οι τιμές των TSS, BOD₅, COD, TN, TP, των ανιονικών επιφανειοδραστικών, του βορίου και των κοπρανωδών κολοβακτηριοειδών μειώθηκαν από 158 mg/L, 466 mg/L, 839 mg/L, 34,3 mg/L, 22,8 mg/L, 7,9 mg/L, 1,6 mg/L και $5 \times 10^7 / (100 \text{ ml})$, σε 3 mg/L, 0,7 mg/L, 157 mg/L, 10,8 mg/L, 6,6 mg/L, 0,6 mg/L, 0,6 mg/L και $2 \times 10^5 / (100 \text{ ml})$.

Γενικώς, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με τεχνητούς υγροτόπους που παίρνουμε από τη βιβλιογραφία είναι ικανοποιητικά. Αναφέρεται μία μέση τιμή του παραμένου BOD 17 mg/L, ενώ στις περισσότερες από τις μισές περιπτώσεις αναφέρεται συγκέντρωση χαμηλότερη από 10 mg/L. Ομοίως, οι μέσες τιμές που αναφέρονται για τη θολότητα και τα αιωρούμενα στερεά (SS) είναι 8 NTU και 13 mg/L αντιστοίχως.

Οι βιολογικοί αντιδραστήρες με μεμβράνη MBR (membrane bioreactors) συνδυάζουν τη βιοαποικοδόμηση με τη διήθηση μέσω μεμβράνης, για το διαχωρισμό των στερεών από το υγρό. Θεωρούνται ως καινοτόμα τεχνολογία για την επεξεργασία γκρι νερού, λόγω της σταθερότητας που έχουν κατά τη λειτουργία και της ικανότητάς τους να απομακρύνουν τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι *Liu et al. (2005)* δημοσίευσαν μια μελέτη με ένα βυθισμένο (submerged) σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού, χαμηλής δυναμικότητας, MBR (μεμβράνες πολυαιθυλενίου, μέγεθος πόρων 0,4 μm) από τη Mitsubishi Rayon. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το COD μειώθηκε, από 130-322 που κυμαινόταν στην εισροή, σε 18 mg/L κατά μέσον όρο, στο διήθημα. Οι συγκεντρώσεις αμμωνίας NH₄-N μειώθηκαν από 0,6-1,0 mg/L σε λιγότερο από 0,5 mg/L. Η τιμή BOD₅ από 99-221 mg/L που ήταν στην εισροή, μειώθηκε σε λιγότερο από 5 mg/L στο διήθημα. Η συγκέντρωση των ανιονικών επιφανειοδραστικών ουσιών (Anionic Surfactants) μειώθηκε από 3,5-8,9 mg/L σε επίπεδα μικρότερα από 0,5 mg/L. Το διήθημα που προέκυπτε από την επεξεργασία αυτή ήταν άχρωμο, άοσμο, χωρίς αιωρούμενα στερεά (SS) και τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή ήταν λιγότερα από το προτεινόμενο όριο. Η μελέτη αυτή κατεδείκνυε ότι η βιολογική αποικοδόμηση απομάκρυνε τους περισσότερους από τους ρύπους, ενώ η διεργασία των μεμβρανών εξάλειψε περαιτέρω τους εναπομείναντες ρύπους, παρέχοντας μια σταθερή λειτουργία και μια εξαιρετικής ποιότητας υδατική εκροή. Η ροή που επιτεύχθηκε στη μελέτη ήταν μικρότερη από 15 L/(m² h).

Στη μελέτη των *Lesjean and Gnirss (2006)* χρησιμοποιήθηκε μία βυθισμένη πλάκα και σύστημα MBR (submerged plate and frame MBR) για την επεξεργασία γκρι νερού, συμπεριλαμβανομένων και των λυμάτων της κουζίνας. Ο χρόνος παρακράτησης της ιλύος (Sludge Retention Time) καθορίστηκε μόλις στις 4 ημέρες και ο υδραυλικός χρόνος

παραμονής (Hydraulic Retention Time) ήταν επίσης μικρός, μόλις δύο ώρες. Η τιμή COD μειώθηκε από 493 mg/L σε 24 mg/L και ο ρυθμός εξάλειψης ήταν μεγαλύτερος από 85% (ανά ημέρα). Το άζωτο από 21 mg/L μειώθηκε σε 10 mg/L, αλλά ο ρυθμός εξάλειψης δεν ήταν σταθερός (κυμάνθηκε από 20% μέχρι 80%). Οι ποσότητες φωσφόρου μειώθηκαν περίπου κατά 50%, από 7,4 mg/L σε 3,5 mg/L. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών SS βρέθηκε να είναι μικρότερη από 1 mg/L καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η ροή που επιτεύχθηκε στη μελέτη αυτή ήταν 7 L/(m² h).

Οι Merz *et al.* (2007) μελέτησαν ένα βυθισμένο (submerged) σύστημα MBR της Zenon (μέγεθος πόρων 0,1 μm), με το οποίο επεξεργάστηκαν το χαμηλής δυναμικότητας γκρι νερό ενός χώρου αθλητισμού και αναψυχής. Οι τιμές της θολότητας, COD, BOD₅, TKN (ολικό Kjeldhal άζωτο), της αμμωνίας, TP (ολικού φωσφόρου), του αλκυλοσουλφονικού άλατος LAS (Linear Alkylbenzene Sulphonate) και των κοπρανωδών κολοβακτηριοειδών μειώθηκαν από 29 NTU, 109 mg/L, 59 mg/L, 15,2 mg/L, 11,8 mg/L, 1,6 mg/L, 299 μg/l και 1.4×10⁵/(100 ml) στην εισερχόμενη ροή, σε 0,5 NTU, 15 mg/L, 5 mg/L, 5,7 mg/L, 3,3 mg/L, 1,3 mg/L, 10 μg/l και 68 /(100 ml) στο διήθημα. Το επεξεργασμένο νερό ήταν άχρωμο και άοσμο. Ανιχνεύτηκαν και κοπρανώδη κολοβακτηρίδια στο διήθημα, τα οποία πιθανότατα προήλθαν από την τυχαία ρύπανση εντός του συστήματος διανομής. Η ροή του διηθήματος στην παρούσα μελέτη κυμάνθηκε μεταξύ 8 και 10 L/(m² h).

6.4 Ανακεφαλαίωση

Ο χαρακτηρισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών του γκρι νερού είναι σημαντικός για να προσδιοριστούν και οι απαιτήσεις για την επεξεργασία του. Είναι προφανές ότι όσο περισσότερο ρυπαντικά βεβαρημένο είναι το γκρι νερό, τόσο περισσότερο απαιτητική είναι και η επεξεργασία του, προκειμένου να έχουμε ασφαλές επαναχρησιμοποιήσιμο νερό, το οποίο ταυτόχρονα να είναι ασφαλές, να μην προκαλεί περιβαλλοντικό πρόβλημα, αλλά και πρόβλημα αισθητικής. Βάσει των ζητημάτων αυτών, τα κύρια χαρακτηριστικά, στων οποίων τη μείωση γίνεται κυρίως η εστίαση, είναι τα αιωρούμενα στερεά SS, τα οργανικά στοιχεία και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών παρουσιάζονται στους πίνακες: Πίνακας 6-1, Πίνακας 6-2, Πίνακας 6-3, ξεχωριστά για κάθε ομάδα τεχνολογιών επεξεργασίας, δηλαδή φυσική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και βιολογική επεξεργασία.

Συμπεραίνουμε, σε γενικά πλαίσια, ότι η εδαφική διήθηση και τα φίλτρα, από μόνα τους, δεν καλύπτουν τα προτεινόμενα όρια ποιότητας επαναχρησιμοποιήσιμου γκρι νερού και κυρίως παρουσιάζουν αδυναμία στην απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ουσιών. Η αδυναμία αυτή μπορεί να προκαλέσει το μετέπειτα πολλαπλασιασμό των παθογόνων μικροοργανισμών, εντός των συστημάτων αποθήκευσης και διανομής, διότι οι οργανικές ουσίες δημιουργούν βιολογικά ευμενείς συνθήκες για την ανάπτυξή τους. Η ανάπτυξη αυτή μπορεί να δυσχεράνει και το ενδεχόμενο επόμενο στάδιο της χημικής απολύμανσης και να οδηγήσει στη δημιουργία παραπροϊόντων. Παρ' όλα αυτά, οι μεμβράνες UF (ultra filtration) απομακρύνουν ικανοποιητικά τα αιωρούμενα στερεά SS, τα παθογόνα και μειώνουν τη θολότητα. Τα συστήματα φυσικής επεξεργασίας, όπως φίλτρα άμμου και μεμβράνες, συνήθως χρησιμοποιούνται στο στάδιο της μετεπεξεργασίας με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης διαύγειας.

Τα συστήματα χημικής επεξεργασίας, συγκριτικά με τα συστήματα φυσικής επεξεργασίας δίνουν καλύτερα αποτελέσματα στη μείωση των οργανικών στοιχείων, η μείωση όμως αυτή, συνήθως, δεν είναι επαρκής. Ανεπαρκής είναι και η μείωση της θολότητας, αφού δεν επιτυγχάνεται μείωση σε επίπεδα <2 NTU. Αρκετά ικανοποιητικές, ωστόσο, είναι οι μειώσεις στα αιωρούμενα στερεά SS.

Τα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας επιτυγχάνουν, γενικώς, εξαιρετική μείωση στις οργανικές ουσίες και στη θολότητα. Οι αναερόβιες διαδικασίες δεν κρίνονται κατάλληλες, λόγω της αδυναμίας που παρουσιάζουν στην απομάκρυνση οργανικών ουσιών και επιφανειοδραστικών, παρόλο που η παραγωγή βιοαερίου θα αποτελούσε ένα επιπρόσθετο όφελος. Η αερόβια όμως βιολογική επεξεργασία, ακόμα και για νερό υψηλής δυναμικότητας, απομακρύνει ένα πολύ σημαντικό ποσοστό βιολογικά διασπώμενου οργανικού υλικού. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την ελαχιστοποίηση του κινδύνου περαιτέρω ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι επιζητούν το οργανικό υλικό, αλλά και την αποφυγή προβλημάτων κακοσμίας. Έτσι, καθίσταται επιτρεπτή η αποθήκευση του επεξεργασμένου γκρι νερού για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Εξαιτίας των ελάχιστων όμως αποτελεσμάτων που προσφέρουν τα συστήματα αυτά, στην εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών, η αερόβια βιολογική επεξεργασία πρέπει να συνοδευτεί και με κάποιο στάδιο διήθησης/φίλτρο - το οποίο θα δώσει και βελτιωμένα αποτελέσματα στη θολότητα και στα αιωρούμενα στερεά SS - ή/και με ένα στάδιο απολύμανσης. Ο συνδυασμός των τριών αυτών διαδικασιών επεξεργασίας θεωρείται ως η πιο οικονομική και εφικτή λύση για την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού (*Li et al., 2009*).

Οι τεχνητοί υγρότοποι, σε σχέση με το κόστος λειτουργίας και συντήρησης που είναι χαμηλό, δίνουν κάποια ικανοποιητικά αποτελέσματα και θεωρούνται ως η περισσότερο φιλική στο περιβάλλον και οικονομικά αποδοτική μέθοδος επεξεργασίας. Η εφαρμογή της όμως απαιτεί μεγάλο χώρο και ως εκ τούτου, δεν είναι εύκολη σε αστικό περιβάλλον.

Οι *Friedler and Hadari (2006)* κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επεξεργασία με αντιδραστήρα διαλείπουσας λειτουργίας RBC είναι οικονομικά αποδοτική όταν το μέγεθος του κτιρίου φτάνει τους επτά ορόφους (28 διαμερίσματα).

Οι βιοαντιδραστήρες με μεμβράνη MBR είναι η μόνη μέθοδος για την επίτευξη ικανοποιητικών μειώσεων σε οργανικά στοιχεία, επιφανειοδραστικά και μικροβιακές συγκεντρώσεις, χωρίς να είναι επιβεβλημένο ένα στάδιο μετεπεξεργασίας (διήθηση ή απολύμανση). Λόγω της εξαιρετικής ποιότητας επεξεργασμένου νερού, της σταθερότητας του συστήματος, της συμπαγούς δομής, του υψηλού ρυθμού οργανικής απομάκρυνσης και της χαμηλής πλεονάζουσας παραγωγής ιλύος, τα συστήματα MBR αποτελούν μια ελκυστική τεχνική λύση επεξεργασίας γκρι νερού. Σε πολυκατοικίες, σύμφωνα με τους *Friedler and Hadari (2006)*, η επιτόπου χρήση συστημάτων MBR είναι οικονομικά αποδοτική όταν το μέγεθος του κτιρίου υπερβαίνει τους 37 ορόφους (148 διαμερίσματα).

Ο προτεινόμενος συνδυασμός των διαφόρων διεργασιών για την επεξεργασία γκρι νερού, προκειμένου να επιτευχθούν τα προτεινόμενα όρια μη πόσιμης επαναχρησιμοποίησης, περιγράφεται στο Σχήμα 6-1.

Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα επεξεργασίας με φυσικά συστήματα (Πηγή: Li et al., 2009).

Αναφορά	Συστήματα Φυσικής Επεξεργασίας Μέθοδος	Χαρακτηρισμός Γκρι Νερού	COD		BOD		Θολότητα		Αιωρούμενα Στερεά SS		Ολικό Άζωτο TN		Ολικός Φώσφορος TP		Ολικός Οργανικός Άνθρακας		Παθογόνα (πλήθος)	
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(πλήθος)		
			Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή
March et al., 2004	Φίλτρο Νάιλον (nylon sock type filter) + Επικάθιση + Απολύμανση	Νερό μπάνιου - χαμηλής δυναμικότητας	171	78			20	16,5	44	18,6	11,4	7,1						
Itayama et al., 2004	Εδαφικό φίλτρο (slanted soil filter) (+βιοαποικοδόμηση)	Νερό από Κουζίνα	271	40,6	477	81			105	23	20,7	4,4	3,8	0,6				
Li et al., 2009	Φίλτρο άμμου + Ενεργός άνθρακας + Απολύμανση						Μείωση κατά 61%		Μείωση κατά 48%									Επαρκής μείωση
Birks, 1998	Μεμβράνες UF	Μέσης δυναμικότητας	451	117	274	53												
Li et al., 2008	Μεμβράνες UF						<1		≈ 0		16,7		6,7	161	28,6			E.coli≈ 0
Ward, 2000	Φίλτρο άμμου + Μεμβράνες διήθησης + Απολύμανση	Χαμηλής δυναμικότητας	Ικανοποιητικά αποτελέσματα															

Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία Γκρι Νερού: Μέθοδοι και Αποτελέσματα

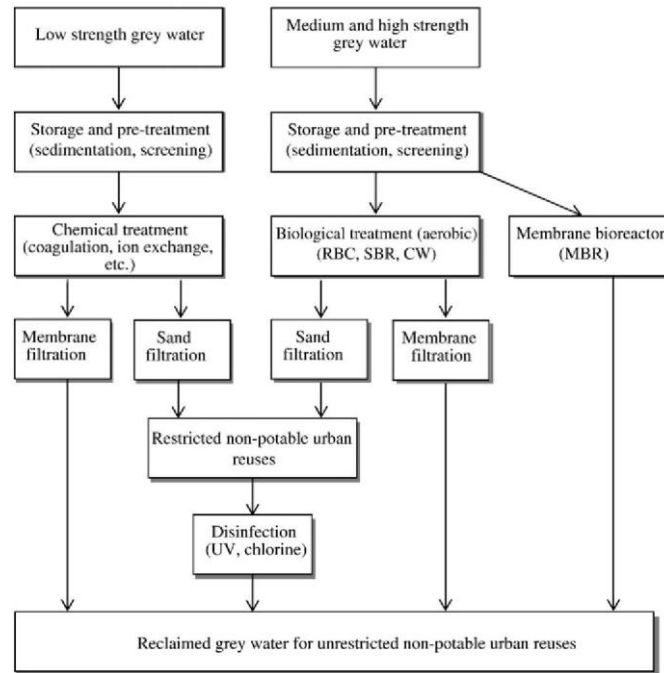
Πίνακας 6-2 Αποτελέσματα επεξεργασίας με χημικά συστήματα (Πηγή: *Li et al., 2009*).

Αναφορά	Χαρακτηριστικό Μέγεθος		COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Αιωρούμενα Στερεά SS (mg/L)	Ολικό Άζωτο TN (mg/L)	Φωσφορικά ιόντα PO ₄ ³⁻ (mg/L)	E.coli (πλήθος)	Ολικά κολοβακτηριειδή (πλήθος)	Κοπρανώδεις εντερόκοκκοι (πλήθος)						
	Μονάδες																
	Όριο μη περιορισμένης επαναχρησιμοποίησης (Li et al., 2009)																
	Όριο μη περιορισμένης επαναχρησιμοποίησης (Li et al., 2009)			BOD ₅ ≤10	≤2		≤1,0			≤100 ανά ml δηλ ≤10000 ανά 100ml							
	Όριο περιορισμένης επαναχρησιμοποίησης (Li et al., 2009)			BOD ₅ ≤30		≤30	≤1,0			≤100 ανά ml δηλ ≤10000 ανά 100ml							
	Συστήματα Χημικής Επεξεργασίας Μέθοδος	Χαρακτηρισμός Γκρι Νερού	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή	Εισροή	Εκροή					
Lin et al., 2005	Ηλεκτρική κροκίδωση + Απολύμανση	Χαμηλής δυναμικότητας	23	9	55	22	43	4	29	9			0				
Pidou et al., 2008	Κροκίδωση με άλας αργιλίου (παρομοίως και με σιδηρικό άλας)	Νερό από ντουζιέρα	791	287	205	23	46,6	4,28			18	15,7	1,66	0,09	<1/ (100ml)	<1/ (100ml)	<1/ (100ml)
Pidou et al., 2008	Μαγνητικής ανταλλαγή ιόντων με ρητίνη	Νερό από ντουζιέρα	791	272	205	33	46,6	8,14			18	15,3	1,66	0,91	8/ (100ml)	59/ (100ml)	<1/ (100ml)
Sostar-Turk et al., 2005	Κροκίδωση + Φίλτρο άμμου + Κοκκώδης ενεργός άνθρακας	Από Πλυσταριό - Χαμηλής δυναμικότητας	280	20	195	10			35	<5							
Parsons et al., 2000	Φωτοκαταλυτική οξειδωση με διοξειδίο τιτανίου + Ακτινοβολία UV		Μείωση οργανικού υλικού κατά 90%												Μείωση κατά 6 logs		

Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία Γκρι Νερού: Μέθοδοι και Αποτελέσματα

Πίνακας 6-3 Αποτελέσματα επεξεργασίας με βιολογικά συστήματα (Πηγή: Li et al., 2009).

Αναφορά	Χαρακτηριστικό Μέγεθος		COD		BOD		Θολότητα		Αιωρούμενα Στερεά SS		Ολικό Άζωτο (TN)		Αμμωνία NH ₄ -N		Οργανικό Άζωτο		Ολικός Φώσφορος TP		Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (πλήθος)		Ανιονικά Επιφανειοδραστικά		Άλλα		
	Μονάδες		(mg/L)		(mg/L)		(NTU)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		≤10 ανά ml δηλ ≤1000 ανά 100ml		(mg/L)		(mg/L)		
	Όριο μη περιορισμένης επαναχρησιμοποίησης (Li et al., 2009)				BOD ₅ ≤10		≤2				≤1,0								≤10 ανά ml δηλ ≤1000 ανά 100ml						
		Όριο περιορισμένης επαναχρησιμοποίησης (Li et al., 2009)				BOD ₅ ≤30		≤30		≤1,0										≤1000 ανά 100ml					
Αναφορά	Συστήματα Βιολογικής Επεξεργασίας		Χαρακτηρισμός Γκρι Νερού		Εισαροή		Εκροή		Εισαροή		Εκροή		Εισαροή		Εκροή		Εισαροή		Εκροή		Εισαροή		Εκροή		
	Μέθοδος																								
Friedler et al., 2005	(Εοσάρωση+) Βιολογικοί δίσκοι RBC (+Καθίζηση) + Φίλτρο άμμου + Χλωρίωση		Χαμηλής δυναμικότητας		158	46	59	6,6	33	1,9	43	16	TKN=8,1	4,9	3,2	4,8	5,6*10 ⁷ / _(100ml)	9,7*10 ⁷ / _(100ml)							
Nolde, 1999	(Καθίζηση+) Δίσκοι RBC + Ακτινοβολία UV						BOD ₇ =50-250	BOD ₇ <5																	
Eriksson et al., 2007	Καθίζηση + RBC + 2βάθμια Καθίζηση + Φίλτρο Άμμου + Ακτινοβολία UV		Νερό από μπάνιο, Χαμηλής δυναμικότητας		142	20	93	1,6					5,2			Ορθοφωσφορικό άλας =0,66							TOC=72	TOC=0,5	
					20	25	1,6	6					0,031			Ορθοφωσφορικό άλας =0,26							TOC=0,5	TOC=13	
Hernandez et al., 2008	Αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας SBR SRT=15 d HRT=11,7 h SRT=378 d HRT=5,9 h				830	91					53,6	34,4	1,2	0,41		7,7	6,5								
					827	100					29,9	26,5	0,8	0,44		8,5	5,8								
Elimitwalli et al., 2007	Αναερόβιος αντιδραστήρας UASB θερμοκρασία περιβάλλοντος, HRT=20 h, 12 h και 8 h		Μεικτό Γκρι Νερό		Μείωση κατά 31-41 %						Μείωση κατά 24-36 %				Μείωση κατά 10-24 %										
Hernandez et al., 2008	Αναερόβιος αντιδραστήρας UASB T=35°C, HRT=7 h και 12,5 h				Μείωση κατά 50 %																Μείωση κατά 24%				
Gross et al., 2007	Τεχνητός Υγρότοπος (Constructed Wetland) RVFCW		Υψηλής δυναμικότητας		839	157	BOD ₅ =466	BOD ₅ =0,7			158	3	34,3	10,8		22,8	6,6	5*10 ⁷ / _(100ml)	2*10 ⁷ / _(100ml)	7,9	0,6	Βόριο=1,6	Βόριο=0,6		
Liu et al., 2005	Βιοαντιδραστήρας με Μembrάνη MBR Μέγεθος πόρων 0,4 μm		Χαμηλής δυναμικότητας		130-322	18	BOD ₅ =99-221	BOD ₅ <5			≈ 0				0,6-1,0	<0,5				Λιγότερα από το όριο	3,5-8,9	<0,5			
Lesjean and Gnirss, 2006	Βιοαντιδραστήρας με Μembrάνη MBR SRT=4 d HRT=2 h		Μεικτό Γκρι Νερό		493	24			<1	<1	21	10				7,4	3,5								
Merz et al., 2007	Βιοαντιδραστήρας με Μembrάνη MBR Μέγεθος πόρων 0,1 μm		Χαμηλής δυναμικότητας		109	15	BOD ₅ =59	BOD ₅ =5	29	0,5	TKN =15,2	TKN =5,7	11,8	3,3		1,6	1,3						LAS =299μg/l	LAS =10μg/l	



Σχήμα 6-1 Συνδυασμός συστημάτων επεξεργασίας για τη μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού. (Πηγή: Li et al., 2009).

Κίνδυνοι Αστοχιών – Συντήρηση – Παρακολούθηση

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια μικρή αναφορά σε κινδύνους που έχουν αναφερθεί κατά τη λειτουργία συστημάτων γκρι νερού, για την ανάγκη θέσπισης πλαισίου παρακολούθησης κι ελέγχου κι επισημαίνεται η ανάγκη συντήρησης των επιμέρους κομματιών του συστήματος.

7.1 Κίνδυνοι Αστοχιών

Έχει αναφερθεί ότι τα συστήματα χημικής επεξεργασίας χρησιμοποιούν μικρές δόσης απολυμαντικού. Έχει αναφερθεί όμως ότι μερικές φορές το σύστημα αυτό δεν λειτουργεί, αλλά και ότι ο νοικοκύρης δεν έχει επίγνωση της βλάβης. Ως εκ τούτου, υπάρχει η αναγκαιότητα να εγκαθίστανται μηχανισμοί ειδοποίησης του χρήστη για τυχόν βλάβες. Κάτι τέτοιο όμως είναι περισσότερο εφικτό να εφαρμοστεί σε κεντρικά συστήματα χάρις της οικονομίας κλίμακας.

Τα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας περιέχουν βακτήρια τα οποία είναι απαραίτητα, διότι μεταβολίζουν διάφορα οργανικά στοιχεία του γκρι νερού. Τα βακτήρια όμως αυτά είναι ευάλωτα από κάποιες χημικές και άλλες ουσίες, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοσή τους, κατ' επέκταση και του συστήματος. Είναι σημαντικό λοιπόν οι χρήστες να είναι επαρκώς ενημερωμένοι, όσον αφορά τις ουσίες και κατ' επέκταση τα προϊόντα που δεν επιτρέπεται να αποχετεύονται προς την ανακύκλωση του γκρι νερού, ώστε να αποφεύγονται οι βλάβες και η μείωση της διάρκειας ζωής διαφόρων εξαρτημάτων (Parkes et al., 2010).

Ακόμα ένα σημείο που αξίζει να δοθεί προσοχή, είναι ότι με την επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού αλλάζει η συγκέντρωση των λυμάτων (μαύρου νερού), αφού πλέον ένα μέρος των μεικτών λυμάτων δεν αποχετεύεται όπως πριν. Το κοπρανώδες φορτίο γίνεται πιο υψηλό με αποτέλεσμα ενδεχομένως να υπάρχει πρόβλημα κατά τη μεταφορά – αποχέτευσή τους προς τη μονάδα επεξεργασίας, αν υποθέσουμε ότι η παραδοσιακή διάταξη του συστήματος κεντρικής επεξεργασίας παραμένει ως έχει. Όσο μεγαλύτερο μέρος του γκρι νερού αποσπάται από τα μεικτά λύματα για επαναχρησιμοποίηση, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η συγκέντρωση του υπολειπόμενου μαύρου νερού, άρα και ο κίνδυνος κοπρανωδών επικαθίσεων εντός των αγωγών αποχέτευσης.

Στην περίπτωση της μητροπολιτικής περιοχής της Βαρκελώνης, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο «κοινωνική αποδοχή» της παρούσας εργασίας, έχουν σημειωθεί οι παρακάτω αστοχίες. Σε έναν από τους 2 τύπους φυσικής επεξεργασίας (χρήση φίλτρων, καθίζησης και απολύμανσης με υποχλωριώδες νάτριο NaClO-χλωρίνη) βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις E. coli (2400 UCF/100mL). Η αστοχία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι είχε τελειώσει το υλικό για την απολύμανση (υποχλωριώδες νάτριο), γεγονός που καταδεικνύει την ανάγκη αυτοματισμών στον έλεγχο και οργάνωσης των διαδικασιών επιτήρησης και συντήρησης. Στο δεύτερο σύστημα φυσικής επεξεργασίας (τύπος Β) παρατηρήθηκαν υψηλές

συγκεντρώσεις χλωρίου (4ppm). Επίσης, ενώ οι κανονισμοί ορίζουν ότι μόνο το νερό του μπάνιου επιτρέπεται να συνδέεται με το σύστημα του γκρι νερού, παρόλα αυτά διαπιστώθηκε ότι είχαν πραγματοποιηθεί και συνδέσεις από κουζίνες και πλυντήρια ρούχων. Άλλη αστοχία που παρατηρήθηκε ήταν η υπερδιαστασιολόγηση των περισσότερων δεξαμενών, με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται το γκρι νερό, θέτοντας σε εκκίνηση τη διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής, προκαλώντας αισθητά δυσάρεστες οσμές. Η προσωρινή διακοπή της λειτουργίας ενός συστήματος λόγω επαναλαμβανόμενης απόρριψης σκουπιδιών στη μπανιέρα από ένα χρήστη ήταν ένα ακόμη γεγονός που σημειώθηκε (Domènech and Saurí 2010).

Μία ακόμη αστοχία που παρατηρείται συχνά είναι η ανεπαρκής ροή στο καζανάκι, πιθανώς σχετιζόμενη με την εφεδρική παροχή από το δίκτυο.

7.2 Συντήρηση

Αναλόγως του συστήματος που έχει επιλεγεί να εγκατασταθεί θα πρέπει να υπάρχει και ένα πρόγραμμα συντήρησης. Αυτό ίσως να απαιτεί και την περιοδική επίσκεψη κάποιου τεχνικού, είτε για τον έλεγχο λειτουργίας, είτε για την αντικατάσταση εξαρτημάτων. Στον Πιν Α-18 (του Παραρτήματος) παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα εργασιών, με τη συνιστώμενη συχνότητά τους, για διάφορα μέρη συστημάτων επαναχρησιμοποίησης. Αναφέρεται για παράδειγμα ότι απαιτείται ετήσιος έλεγχος των φίλτρων, μηνιαίος έλεγχος της απόθεσης των χημικών ουσιών, καθαρισμός και έλεγχος των λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας UV ανά εξάμηνο, άδειασμα και καθαρισμός των δεξαμενών ανά 10 χρόνια, ετήσιος έλεγχος τυχόν διαρροών των σωληνώσεων ... Οι συχνότητες που παρατίθενται είναι ενδεικτικές και στην πράξη ίσως απαιτείται συχνότερη επίβλεψη της λειτουργίας. Επίσης, οδηγίες είναι πιθανό να δίνονται από τους κατασκευαστές (Parkes et al., 2010).

7.3 Παρακολούθηση και Αξιολόγηση Σωστής Λειτουργίας (Monitoring & Assessment)

Ο έλεγχος, η παρακολούθηση και η αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία. Η παρακολούθηση αποτελεί μέρος της διαχείρισης του συστήματος. Αλληλεπιδρά με τις διαδικασίες υλοποίησης και συμβάλλει στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και στον επαναπροσδιορισμό των στόχων και των επιλογών (Bartram and Ballance, 1996).

Η παρακολούθηση (Monitoring) των συστημάτων γκρι νερού μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις. Στην επικύρωση, δηλαδή την επιβεβαίωση ότι το σύστημα είναι σωστά σχεδιασμένο ώστε να επιτυγχάνει τους στόχους που έχουμε θέσει, την παρακολούθηση σωστής λειτουργίας και την επαλήθευση, όπου ελέγχεται εάν επιτυγχάνονται οι τελικοί στόχοι που έχουν τεθεί όσον αφορά το επίπεδο της υγείας. Για να δομηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης πρέπει να απαντηθούν ερωτήματα όπως (WHO, 2006):

- Τι είδους πληροφορίες πρέπει να συλλεχθούν;
- Πόσο συχνά και από ποιον πρέπει να συλλεχθούν;
- Σε ποιον θα δοθούν οι πληροφορίες αυτές;
- Τι αποφάσεις θα παρθούν επί της βάσης των πληροφοριών αυτών;

- Πώς θα υλοποιηθούν οι αποφάσεις αυτές

7.3.1 Επικύρωση

Η διαδικασία της επικύρωσης (validation) ξεκινάει από την αρχή της λειτουργίας ενός συστήματος, είτε όταν δοκιμάζεται ένα καινούριο σύστημα, είτε ένα καινούριο κομμάτι (του συστήματος), είτε ένας νέος συνδυασμός αλλά και για τη σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών επιλογών. Συγκεντρώνονται πληροφορίες που στοχεύουν στον έλεγχο της διασφάλισης της ικανότητας του συστήματος να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αυτού του είδους ο έλεγχος δεν έχει καθημερινό και άμεσο χαρακτήρα (WHO, 2006).

7.3.2 Παρακολούθηση της Λειτουργίας

Η διαδικασία της παρακολούθησης της λειτουργίας (operational monitoring) στοχεύει στον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του συστήματος. Ο έλεγχος αυτός έχει καθημερινό χαρακτήρα και βασίζεται σε απλές μετρήσεις, οι οποίες μπορούν και εντοπίζονται έγκαιρα, ώστε να παρθούν έγκαιρα αποφάσεις και να γίνουν οι ενέργειες για την πρόληψη πιθανών προβλημάτων. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να αφορούν το χρόνο αποθήκευσης, το κοπρανικό φορτίο, τον άμεσο έλεγχο βακτηριακών δεικτών ή και την ανάπτυξη κουνουπιών (WHO, 2006).

7.3.3 Επαλήθευση

Με τη διαδικασία της επαλήθευσης (verification) ελέγχεται εάν με τα μέτρα που έχουν ληφθεί επιτυγχάνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα, είτε σε επίπεδο μικροβιακής ρύπανσης και γενικότερα ποιότητας νερού, είτε σε επίπεδο στόχων της κατάστασης υγείας. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας έχουν περισσότερο μακροπρόθεσμη στόχευση (WHO, 2006).

7.3.4 Μικρά Συστήματα και Κοινωνικός Παράγοντας

Πέρα από τους άμεσους κινδύνους που υπάρχουν από κάποια αστοχία (π.χ. για την υγεία), σε περίπτωση ελλιπούς παρακολούθησης διακινδυνεύεται και η δυσaréσκεια με αποτέλεσμα την αποστροφή της κοινωνίας απέναντι στα συστήματα εξοικονόμησης νερού γενικότερα. Κάτι τέτοιο θα δυσχέραινε την περαιτέρω εφαρμογή τους.

Επίσης σε μικρής εμβέλειας συστήματα είναι εξαιρετικά δύσκολο να υπάρχει συνεχής επιτήρηση και ελεγκτικοί μηχανισμοί. Για το λόγο αυτό θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμη η ύπαρξη συστημάτων αυτόματου (ή μη αυτόματου) ελέγχου απλών μετρήσεων (παρακολούθηση λειτουργίας), ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου από κάθε χρήστη, χωρίς να απαιτείται η συνεχής παρουσία κάποιου ειδικού. Βέβαια, πολύ σημαντική είναι η συμβολή και των ίδιων των χρηστών στην παρακολούθηση, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του συστήματος (Domènech and Saurí, 2010). Αυτό απαιτεί αυξημένη υπευθυνότητα² από τους χρήστες, οι οποίοι θα πρέπει να έχουν πλέον μία παραπάνω έγνοια.

² Η υπευθυνότητα για τους χρήστες είναι απαραίτητη όχι μόνο για τον έλεγχο των συστημάτων αλλά και στην καθημερινό τρόπο υδατικής κατανάλωσης. Για παράδειγμα, έχει σημασία να μην απορρίπτονται επικίνδυνα υλικά, ιδιαίτερα στις ροές που πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν.

Κοινωνική Αποδοχή (Acceptability)

Ένα από τα ζητήματα για την εφαρμογή εναλλακτικών υδατικών συστημάτων είναι η κοινωνική αποδοχή. Το ζήτημα αυτό αφορά διάφορους εμπλεκόμενους, όπως τις εταιρίες παροχής νερού (Water Service Providers, WSPs), τους επαγγελματίες σχεδιασμού και κατασκευής τέτοιων συστημάτων και ασφαλώς τους ίδιους τους χρήστες και καταναλωτές. Μέχρι στιγμής υπάρχει ένα έλλειμμα στη διερεύνηση της παραμέτρου της αποδοχής όσον αφορά τις εναλλακτικές υδατικές τεχνολογίες. Έχει πάντως καταστεί σαφές ότι αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο για την επιτυχία μιας τέτοιας εφαρμογής. Έχει παρατηρηθεί σε κάποιες περιπτώσεις, να κρίνονται κάποιες μελέτες/προτάσεις ως οι καταλληλότερες (συγκριτικά με άλλες) από ειδικούς (μηχανικούς, τεχνικό προσωπικό) και παρόλα αυτά να μην γίνονται αποδεκτές από τα μέλη μιας κοινωνίας, που διαφωνούν, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η περαιτέρω εγκατάσταση και λειτουργία των συστημάτων που σχεδιάστηκαν (*Ward et al.*). Η κοινωνική αποδοχή λοιπόν θεωρείται αναγκαία, προκειμένου να ξεπεραστούν και άλλου είδους εμπόδια (π.χ. κόστος εγκαταστάσεων, έλλειψη εμπιστοσύνης για την ποιότητα επεξεργασμένου νερού, θέματα ιδιοκτησιών γης κ.α.) και για το λόγο αυτό πρέπει να επιζητείται και να επιδιώκεται η συμμετοχή και η συναίνεση της κοινωνίας προς την υιοθέτηση μιας εναλλακτικής επιλογής.

8.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Κοινωνική Αποδοχή

Συγκεκριμένα, έναντι της επιλογής επαναχρησιμοποίησης νερού, πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την όποια στάση (απόκριση) των μελών μιας κοινωνίας. Βασικοί παράγοντες είναι η αίσθηση αηδίας που προκαλεί η ιδέα (π.χ. η κατανάλωση τροφίμων που έχουν αρδευτεί με επεξεργασμένο νερό), οι πιθανότητες έκθεσης σε κίνδυνο για την υγεία, ο τύπος προέλευσης του επεξεργασμένου νερού που χρησιμοποιείται (μαύρο, γκρι, βρόχινο), το χρώμα ή οι δυσάρεστες οσμές, εφόσον το νερό διαθέτει τέτοια χαρακτηριστικά και ο χρήστης (π.χ. ο γεωργός) τα αντιλαμβάνεται, η δυνατότητα χρήσης πόσιμου νερού, η εμπιστοσύνη στις αρχές και στην επιστημονική γνώση, οι αντιλήψεις για θέματα του περιβάλλοντος, η αίσθηση δικαιοσύνης από την πολιτική που ακολουθείται, το κόστος του επαναχρησιμοποιήσιμου νερού και δημογραφικοί παράγοντες. Επίσης ρόλο παίζουν η ιστορία του τόπου που εφαρμόζεται, το πολιτικό περιβάλλον, ο τρόπος που διεξάγεται η επικοινωνία για το θέμα αυτό με την κοινωνία, ο βαθμός που η κοινωνία συμμετέχει στη λήψη αποφάσεων, η απειλή ή το κόστος εναλλακτικών λύσεων (π.χ. μηδενική λύση, αφαλάτωση), η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων λύσεων και το επίπεδο μόρφωσης των μελών της κοινωνίας.

8.1.1 Κοινωνιολογικοί Παράγοντες

Είναι γενικά παρατηρημένο από κοινωνιολογικής άποψης, ότι μεγαλύτερη αντίθεση στην ιδέα της επαναχρησιμοποίησης νερού υπάρχει στους μεγαλύτερους ανθρώπους, άνω των 50 ετών και στους ανθρώπους χαμηλότερου μορφωτικού επιπέδου (*Menegaki et al., 2007*). Στην έρευνα των *Domènech and Saurí (2010)* διαπιστώνεται μια ελαφρώς μεγαλύτερη αποδοχή από ενοικιαστές των κατοικιών σε σχέση με αυτήν των κατοίκων στους οποίους και

ανήκει η κατοικία, που ίσως να οφείλεται στην αίσθηση της προσωρινότητας από την πλευρά των ενοικιαστών. Αλλού πάλι διαπιστώνεται μεγαλύτερη αποδοχή της ιδέας της επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού στον κήπο από τις γυναίκες και από τους κατοίκους χαμηλότερου εισοδήματος. Ίσως αυτό να εξηγείται, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι γυναίκες είναι μάλλον πιο εξοικειωμένες με τη επαφή με τα απόνερα της κουζίνας και του καθαρισμού του μπάνιου. Σε γενικές γραμμές όμως το εισόδημα, το φύλο, η ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο δεν φαίνεται να διαφοροποιούν έντονα την αποδοχή ή μη των εναλλακτικών αυτών συστημάτων (Ryana et al., 2009). Το κοινωνικό μάρκετινγκ έχει παρατηρηθεί ότι δεν αποδίδει τα επιθυμητά αποτελέσματα, όμως σημαντική είναι η διαρκής ενημέρωση των μελών της κοινωνίας και η ενθάρρυνση της συμμετοχής τους στη λήψη αποφάσεων, αφού οι διαδικασίες αυτές προσδίδουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη (Menegaki et al., 2007 : Khan and Gerrard, 2006).

8.1.2 Τρόπος Εφαρμογής – Εξοικείωση

Επίσης, η αποδοχή είναι μεγαλύτερη όσο απομακρύνεται η πιθανότητα προσωπικής επαφής με το επεξεργασμένο νερό και όσο μεταφέρεται το νερό από ιδιωτική χρήση (πότισμα κήπου) προς τη δημόσια χρήση (π.χ. άρδευση πάρκων) (Menegaki et al., 2007). Είναι φυσικό η πόσιμη χρήση να συναντά τις μεγαλύτερες δυσκολίες στην αποδοχή από τους ανθρώπους, με το μαγείρεμα να συγκαταλέγεται σε αυτού του είδους τη χρήση. Ένα ακόμα ενδιαφέρον στοιχείο που έχει παρατηρηθεί είναι ότι οι χρήστες προτιμούν να χρησιμοποιούν επεξεργασμένο νερό που προέρχεται από τα δικά τους λύματα παρά εκείνο που προέρχεται από λύματα διαφόρων άλλων συμπολιτών (Mankad and Tapsuwan, 2011).

Την αποδοχή επηρεάζει και ο βαθμός δυσκολίας στην εφαρμογή, στην προσαρμογή και στην ενδεχόμενη απαίτηση υιοθέτησης νέων συνηθειών από την πλευρά των χρηστών. Η αυξημένη ευθύνη που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία και συντήρηση του συστήματος, δεν είναι βέβαιο ότι είναι πρόθυμοι να την αναλάβουν όλοι οι χρήστες. Εκείνοι δε οι χρήστες που χρησιμοποιούν ήδη στέρνες για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού φαίνεται να κατανοούν καλύτερα και να είναι πιο δεκτικοί στην ιδέα της επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού. Ένα θέμα προς διερεύνηση είναι εάν το ψυχολογικό και κοινωνικό υπόβαθρο κάποιου τον οδηγεί ευκολότερα στην υιοθέτηση ενός εναλλακτικού συστήματος, ή εάν η υιοθέτηση του συστήματος (από τον ίδιο ή από κάποιον γνωστό) και η εξοικείωση με την ιδέα αυτή επηρεάζει θετικά την αντίληψή του (Ryana et al., 2009). Ο καλός σχεδιασμός και η σωστή υλοποίηση αποτελούν επίσης σημαντικό παράγοντα, διότι σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να δημιουργηθούν είτε προβλήματα υγείας, είτε περιβαλλοντικά, είτε οικονομικά προβλήματα, τα οποία ενδέχεται να απογοητεύσουν και να αποθαρρύνουν την κοινωνία.

8.1.3 Πολιτικοί Παράγοντες

8.1.3.1 Τιμολογιακή Πολιτική

Η τιμή και γενικότερα τα κίνητρα (ακόμα και τα πολιτικά, Mankad and Tapsuwan, 2011) παίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο και η τιμολόγηση μπορεί να αποτελέσει βασικό εργαλείο χάραξης πολιτικής. Όταν η τιμή του πόσιμου νερού είναι χαμηλή, τότε οι χρήστες δεν δείχνουν μεγάλη επιθυμία χρησιμοποίησης επεξεργασμένου νερού. Έτσι, οι πάροχοι – διαχειριστές κεντρικών συστημάτων γκρι νερού θα πρέπει να προσφέρουν το

επεξεργασμένο νερό σε μικρότερη τιμή σε σχέση με το πόσιμο, ώστε να είναι περισσότερο αποδεκτό και παράλληλα η τιμή του πόσιμου ίσως θα πρέπει να είναι λίγο αυξημένη για την επίτευξη του ίδιου στόχου. Άλλωστε στην Ελλάδα, το πόσιμο νερό έχει χαρακτηριστεί ως υποτιμημένο τιμολογιακά (Menegaki et al., 2007). Για την περίπτωση των αποκεντρωμένων συστημάτων, ωστόσο, είναι λογικό να υπάρχει διστακτικότητα από τους καταναλωτές όσον αφορά το απαιτούμενο κόστος κεφαλαίου, το μέγεθος της εξοικονόμησης χρημάτων που θα προκύπτει από την εξοικονόμηση νερού και το χρόνο που θα χρειαστεί ώστε να γίνει απόσβεση.

8.1.3.2 Πολιτική Διαχείριση

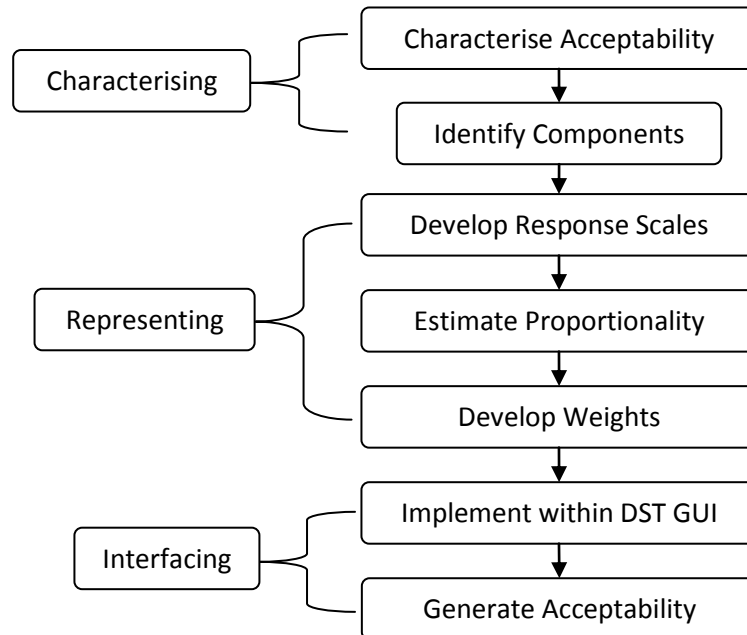
Όσον αφορά τη συμβολή του κράτους στη διαμόρφωση υψηλής αποδοχής, μια συνήθης πολιτική είναι η προσφορά κάποιου είδους επιδότησης, προκειμένου να καταστεί ελκυστικότερη επιλογή η χρησιμοποίηση επεξεργασμένου νερού (Menegaki et al., 2007). Εδώ μπορεί να προστεθεί ότι και η επιλογή της περιόδου που θα γίνει μια σχετική συζήτηση μπορεί να παίζει ρόλο. Έχει παρατηρηθεί, ότι αρκετά συστήματα εξοικονόμησης έχουν τεθεί σε εφαρμογή σε περιόδους αυξημένης επίγνωσης από τους πολίτες των προβλημάτων λειψυδρίας (Mankad and Tapsuwan, 2011). Γενικότερα, από άποψη πολιτικής, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη στρατηγικής για την ενημέρωση και την απαλλαγή από λανθασμένα στερεότυπα της κοινωνίας, που ενδέχεται να υπάρχουν. Στην εργασία του Hartley (2006) εντοπίζονται πέντε βασικά σημεία για να διασφαλιστεί μεγάλη αποδοχή και για να είναι αποτελεσματική η λήψη μιας απόφασης προς την κατεύθυνση της επαναχρησιμοποίησης του γκρι νερού. Αυτά τα σημεία είναι τα εξής:

1. Ύπαρξη πολιτικής για την ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων.
2. Καλλιέργεια ιδιωτικών κινήτρων και απόδειξη της τήρησης των δεσμεύσεων από την πλευρά των Πολιτικών Αρχών.
3. Καλλιέργεια της επικοινωνίας και του δημόσιου διαλόγου.
4. Διασφάλιση μιας δίκαιης και υγιούς διαδικασίας λήψης αποφάσεων.
5. Η θεμελίωση και διατήρηση αισθήματος εμπιστοσύνης.

8.2 Υπολογισμός και Προσομοίωση της Κοινωνικής Αποδοχής

Αφού λοιπόν καταλήξει κανείς όσον αφορά το επίπεδο της αποδοχής από την κοινωνία, ένα ζήτημα είναι και κατά πόσον μπορεί να μετατρέψει την αποκτηθείσα αυτή γνώση σε μία μορφή, που να μπορεί να εισαχθεί σε προσομοιώσεις. Έπειτα, ζητούμενο είναι αυτό να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η αξιοποίηση-επεξεργασία της γνώσης αυτής (με τη νέα της μορφή) από τους μελετητές υδατικών συστημάτων, όπως επίσης να διευκολύνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας στους εμπλεκόμενους, οι οποίοι θα λάβουν και τις αποφάσεις και πιθανότατα να μην είναι ειδικοί επιστήμονες. Μια τέτοια προσπάθεια έχει ξεκινήσει να γίνεται και κατά την ανάπτυξη του προγράμματος προσομοίωσης UWOT (Urban Water Optioneering Tool). Στη Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών, για κάθε συσκευή που μπορεί να επιλεγεί υπάρχει ένας δείκτης που ποσοτικοποιεί την ποιοτική παράμετρο της αποδοχής, με τιμές από 0 (μη αποδεκτή) έως 5 (αποδεκτή). Οι τιμές αυτές επιλέγονται από το χρήστη, όμως δεν μπορούμε να πούμε ότι επαρκούν για το χαρακτηρισμό μίας τόσο πολύπλοκης παραμέτρου όπως η κοινωνική αποδοχή (Ward et al.).

Στο Σχήμα 8-1 παρουσιάζεται συνοπτικά μία μεθοδολογία, η οποία έχει ως σκοπό μία σχετικά αναλυτική αναπαράσταση της αποδοχής εντός του προγράμματος προσομοίωσης. Η μεθοδολογία αυτή χωρίζεται σε τρία κύρια στάδια: Το χαρακτηρισμό (characterising), την απεικόνιση-ποσοτικοποίηση (representing) και τη διασύνδεση (interfacing).

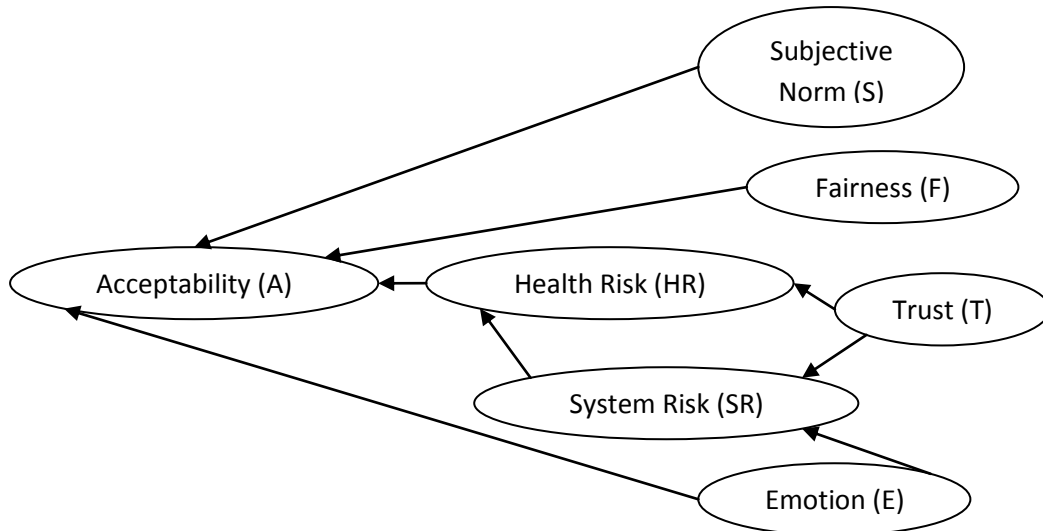


Σχήμα 8-1 Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για την προσομοίωση της κοινωνικής αποδοχής (Πηγή: Ward et al.).

8.2.1 Χαρακτηρισμός (Characterising)

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας είναι ο χαρακτηρισμός της αποδοχής και ο εντοπισμός των βασικών στοιχείων-συνιστωσών της και των αλληλεπιδράσεών τους. Είναι γεγονός ότι η έννοια της αποδοχής διαφέρει μεταξύ των διάφορων κοινωνικών ομάδων (καταναλωτές, μηχανικοί, διαχειριστές), αλλά και μεταξύ των κοινωνιών κάθε περιοχής, εξαρτώμενη και από κοινωνιολογικά και πολιτισμικά χαρακτηριστικά. Διαφοροποίηση υπάρχει επίσης ως προς το είδος, για την εφαρμογή του οποίου εξετάζεται η αποδοχή. Για παράδειγμα, με άλλα κριτήρια κάποιος αποδέχεται ή όχι συσκευές (π.χ. μειωμένης κατανάλωσης νερού) – όπου έχει εντοπιστεί ότι η αποδοχή επηρεάζεται κυρίως από το κόστος, την ποιότητα και την αποδοτικότητα της συσκευής – και με άλλα κριτήρια αποδέχεται ή όχι τη χρήση εναλλακτικών πηγών νερού.

Για παράδειγμα, για τη δεύτερη αυτή κατηγορία, δηλαδή για τη χρήση εναλλακτικών πηγών νερού, έχουν εντοπιστεί τέσσερις πρωτογενείς και δύο δευτερογενείς συνιστώσες. Τα πρωτογενή στοιχεία είναι η εμπιστοσύνη (Trust), το συναίσθημα (Emotion), το αίσθημα δικαιοσύνης (Fairness) και το υποκειμενικό πρότυπο (Subjective norm). Τα δευτερογενή στοιχεία είναι ο κίνδυνος για την υγεία (Health Risk) και ο κίνδυνος αστοχίας του συστήματος (System Risk). Αυτά αποτελούν τα βασικά στοιχεία για τον προσδιορισμό του βαθμού αποδοχής των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης νερού. Στο Σχήμα 8-2 παρουσιάζεται ένα ομοίωμα των συσχετισμών μεταξύ των πρωτογενών και των δευτερογενών στοιχείων, με το οποίο προσεγγίζεται ο βαθμός της αποδοχής.



Σχήμα 8-2 Ομοίωμα συσχετισμών κάποιων στοιχείων που επηρεάζουν το βαθμό αποδοχής εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης νερού (Πηγή: *Ward et al.*).

8.2.2 Απεικόνιση – Ποσοτικοποίηση (Representing)

Το δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας είναι η ποσοτικοποίηση των παραπάνω στοιχείων με στόχο την εξαγωγή μίας τιμής, που θα επιτρέπει τη σύγκριση και την αξιολόγηση του επιπέδου αποδοχής. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή μιας συνάρτησης αποδοχής (Acceptability Function) η οποία θα ορίζεται από τους συσχετισμούς μεταξύ των στοιχείων (όπως έχουμε περιγράψει προηγουμένως). Οι συσχετισμοί αυτοί περιγράφονται με εξισώσεις. Μία συνήθης προσέγγιση για την κατασκευή της συνάρτησης είναι η μέθοδος σταθμισμένης πρωταρχικής προτίμησης (*a priori preference weighted method*). Οι εξισώσεις που περιγράφουν τους συσχετισμούς του Σχήμα 8-2 θα έχουν την παρακάτω μορφή:

$$A = f(S, F, T, E)$$

$$\text{Όπου: } T = f(\text{HR}, \text{SR})$$

$$\text{HR} = f(T, \text{SR})$$

$$\text{SR} = f(T, E)$$

Εκτός από το συσχετισμό μεταξύ των στοιχείων-συνιστωσών, απαιτείται ο καθορισμός μιας τιμής που θα αντιπροσωπεύει το βαθμό αποδοχής (Scales) της υπό μελέτη εφαρμογής με κριτήριο την κάθε συνιστώσα του Σχήμα 8-2 και ο καθορισμός ενός βάρους συμβολής της κάθε συνιστώσας στην τελική αποδοχή (Proportionality and Weights). Ο βαθμός αποδοχής (Scales) αναπαρίσταται με μία κλίμακα από -1 μέχρι +1 και σχετίζεται με μία ερώτηση όπου με την απάντησή της δίνεται μια αξιολόγηση του κάθε κριτηρίου (π.χ. εμπιστοσύνη) με το οποίο αξιολογείται η αποδοχή μιας εφαρμογής. Μία τιμή κοντά στην τιμή +1 καταδεικνύει θετική αποδοχή, ενώ κοντά στην τιμή -1 δηλώνει μη αποδοχή. Οι τιμές των δευτερογενών συνιστωσών εξαρτώνται από τη συσχέτιση που έχει τεθεί ότι έχουν με τις πρωτογενείς συνιστώσες του ομοιώματος συσχετισμών. Τα βάρη των πρωτογενών συνιστωσών έχουν άθροισμα 100%.

Οι απαντήσεις, που θα καθορίσουν τις τιμές των πρωτογενών συνιστωσών, δίνονται από τους χρήστες των εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Tools), με βάση τις

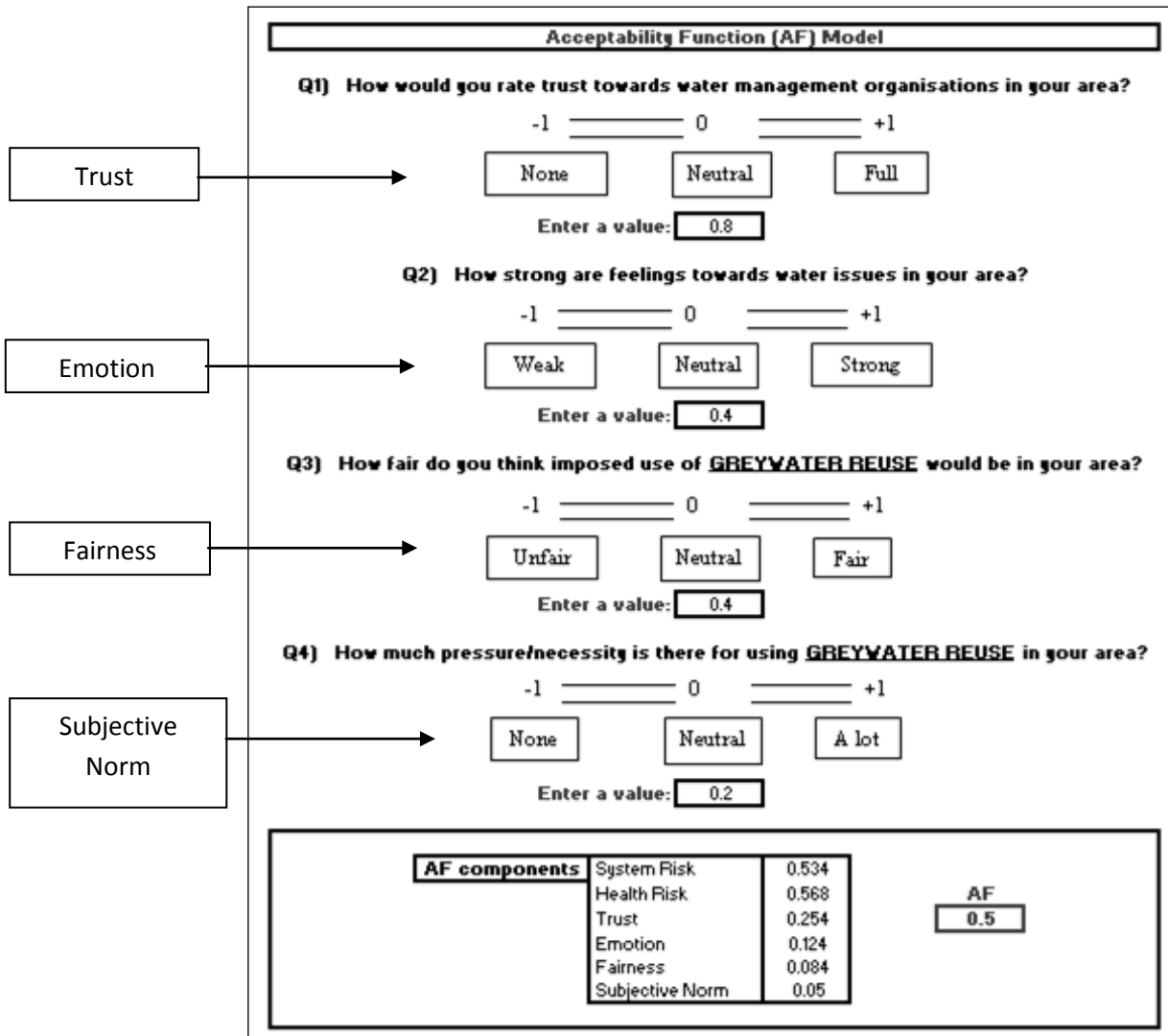
γνώσεις τους, όσον αφορά τις συνήθειες και τις αντιλήψεις των μελών μιας κοινωνίας, τις πληροφορίες που έχουν αποκομίσει από την επικοινωνία μαζί τους, τις σχετικές δειγματοληπτικές έρευνες, την παρακολούθηση της σχετικής τοπικής αρθρογραφίας, των πρωτοβουλιών και γενικότερα απαιτείται και η προσωπική κρίση του χρήστη του εργαλείου.

Συμπερασματικά, οι εξισώσεις που περιγράφουν τους συσχετισμούς των συνιστωσών, οι τιμές της αποδοχής για κάθε συνιστώσα και ο βαθμός (τα βάρη) κάθε συνιστώσας που επηρεάζει την τελική τιμή της κοινωνικής αποδοχής συνιστούν τη συνάρτηση αποδοχής (Acceptability Function).

8.2.3 Διασύνδεση (Interfacing)

Το τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας είναι η αυτοματοποίηση των παραπάνω διαδικασιών με την κατασκευή του ομοιώματος σε μια βάση λογιστικού φύλλου, το οποίο θα λειτουργεί ως σύνδεσμος-διεπιφάνεια μεταξύ του χρήστη και του προγράμματος. Δηλαδή, αφότου έχει μορφωθεί η συνάρτηση αποδοχής και έχει κατασκευαστεί ως πρόγραμμα, ζητούμενο είναι μετά την εισαγωγή των τιμών αξιολόγησης της αποδοχής κάθε συνιστώσας, να προκύπτει αυτομάτως μια τελική τιμή. Η τιμή αυτή θα αποτελεί το αποτέλεσμα της εκτίμησης της αποδοχής της κοινωνίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, για την οποία εισήχθησαν οι τιμές. Η τιμή αυτή θα μπορεί έπειτα να μεταφέρεται ως μία από τις πολλές πληροφορίες για τη συγκεκριμένη εφαρμογή στο πρόγραμμα UWOT.

Στο Σχήμα 8-3 παρουσιάζεται μία τέτοια διεπιφάνεια (Graphical User Interface GUI) που έχει κατασκευαστεί για τις πρωτογενείς συνιστώσες του παράγοντα κοινωνικής αποδοχής, όσον αφορά την εφαρμογή συστημάτων επαναχρησιμοποίησης νερού. Στο σχήμα αυτό φαίνονται για κάθε συνιστώσα η αντίστοιχη ερώτηση, το πεδίο βαθμολόγησης (-1 έως +1) για την αξιολόγηση από τους χρήστες της αποδοχής με τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό και στο κάτω μέρος φαίνονται τα σταθμισμένα αποτελέσματα, δηλαδή έπειτα από την επεξεργασία τους σε συνδυασμό με τα βάρη και τη συνάρτηση αποδοχής. Το σταθμισμένο άθροισμα των πρωτογενών συνιστωσών αποτελεί το τελικό αποτέλεσμα της εκτίμησης της κοινωνικής αποδοχής με την ένδειξη AF.



Σχήμα 8-3 Σχήμα: Διεπιφάνεια της συνάρτησης αποδοχής όπου απεικονίζεται η ερώτηση για κάθε συστατικό, το πεδίο βαθμολόγησης της αποδοχής και τα αποτελέσματα (Πηγή: Ward et al.).

8.3 Αποδοχή από Γεωργούς και Καταναλωτές στην Κρήτη

Όπως έχουμε αναφέρει μια διαδεδομένη εφαρμογή για την αξιοποίηση του επαναχρησιμοποιήσιμου νερού είναι η άρδευση. Αξίζει λοιπόν να δούμε ποια είναι η στάση των γεωργών που θα καλούνταν να κάνουν χρήση του νερού αυτού και των καταναλωτών των παραγόμενων προϊόντων.

8.3.1 Περιγραφή

Σε μια κοινωνιολογικής φύσεως έρευνα των Menegaki et al., (2007) εξετάστηκε η πρόθεση ή μη των γεωργών να αρδεύσουν με επεξεργασμένο νερό και την πρόθεση των καταναλωτών να καταναλώσουν προϊόντα για την παραγωγή των οποίων η άρδευση έχει πραγματοποιηθεί με επεξεργασμένο νερό. Συγκεκριμένα, η έρευνα διεξήχθη στο νησί της Κρήτης, για την άρδευση (με επεξεργασμένο νερό) ελαιόδεντρων και καλλιεργειών ντομάτας και για την κατανάλωση των αντίστοιχων προϊόντων (ελαιολάδου και ντομάτας).

Βέβαια, στην έρευνα αυτή το επαναχρησιμοποιήσιμο νερό θα προερχόταν από μεικτά λύματα (μαύρο νερό), όμως μία από τις εξεταζόμενες κατηγορίες νερού – ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας – αντιστοιχεί σε νερό τριτοβάθμιας επεξεργασίας, όπου θεωρείται ότι το οργανικό φορτίο έχει απομακρυνθεί κατά 99%, έχει πραγματοποιηθεί απολύμανση και δεν υπάρχουν στο νερό παθογόνα μικρόβια. Εδώ αναφέρονται κάποια από τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής θεωρώντας ότι αυτή η ποιότητα νερού είναι όμοια με αυτή του επεξεργασμένου γκρι νερού, οπότε μπορεί να υποτεθεί ότι όμοια θα είναι και η απόκριση χρηστών και καταναλωτών.

Συγκεκριμένα, εκτός από την πρόθεση των παραγωγών να χρησιμοποιήσουν επεξεργασμένο νερό και των καταναλωτών να καταναλώσουν τα αντίστοιχα προϊόντα (Willingness To Use, WTU) διερευνήθηκε και ο βαθμός προθυμίας να πληρώσουν (Willingness To Pay, WTP) για το νερό ή για τα προϊόντα αντίστοιχα. Οι δείκτες WTU και WTP χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του επιπέδου εκτίμησης του επαναχρησιμοποιήσιμου νερού από τους καταναλωτές και της επιθυμίας να πληρώσουν για την απόκτησή του. Οι δείκτες αυτοί μπορεί να συσχετιστούν με διάφορους παράγοντες. Για παράδειγμα, η ενδεχόμενη έλλειψη υδατικών πόρων αναμένεται να αυξήσει την προθυμία των καταναλωτών να πληρώσουν (Mankad and Tapsuwan, 2011).

8.3.2 Αποτελέσματα

Για την ποιότητα νερού που προαναφέραμε, οι παραγωγοί δήλωσαν κατά 83% (376 σε δείγμα 453 ατόμων) πρόθυμοι να ποτίσουν (WTU) με επεξεργασμένο νερό τα ελαιόδεντρα τους, ενώ λιγότεροι, 65,3% δήλωσαν πρόθυμοι να ποτίσουν με τέτοιο νερό τις καλλιέργειες ντομάτας (μεγάλο ήταν και το ποσοστό όσων το σκέφτονταν προβληματισμένοι, 11,3%). Μία εξήγηση για αυτό είναι ότι το φυτό της ντομάτας είναι πιο ευαίσθητο στην ποιότητα νερού από το ελαιόδεντρο και οι καρποί, δηλαδή οι ντομάτες, κατά την ανάπτυξη και την παραμονή τους επάνω στο φυτό βρίσκονται πολύ κοντά στο έδαφος, οπότε υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να έρθουν σε άμεση επαφή με το επεξεργασμένο νερό. Όσον αφορά τους καταναλωτές, αυτοί δήλωσαν κατά 92,7% πρόθυμοι να καταναλώσουν (ίσως ή σίγουρα ναι) ελαιόλαδο για την παραγωγή του οποίου χρησιμοποιήθηκε επεξεργασμένο νερό, ενώ και πάλι μικρότερο ήταν το ποσοστό για την κατανάλωση αντίστοιχου προϊόντος ντομάτας, 63,2% (σε δείγμα 342 ατόμων). Η όποια απροθυμία των καταναλωτών εκφράστηκε, αιτιολογείται στην έλλειψη εμπιστοσύνης προς τους παραγωγούς για την τήρηση των οδηγιών άρδευσης και στην έλλειψη εμπιστοσύνης προς τις Αρχές της Πολιτείας, για τη σωστή επίβλεψη της τήρησης των κανόνων από τους παραγωγούς, για τη σωστή λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και για την παραγωγή της προβλεπόμενης ποιότητας εκροής με την οποία θα αρδεύονται τα φυτά. Επίσης, η μεγαλύτερη προθυμία στην κατανάλωση ελαιολάδου από ό,τι ντομάτας αποδίδεται και στο γεγονός, ότι η παραγωγή ελαιολάδου προέρχεται από κάποιου είδους επεξεργασία του καρπού της ελιάς, όπου ίσως μειώνονται οι πιθανοί κίνδυνοι, ενώ η ντομάτα καταναλώνεται πολύ συχνά ωμή.

Όσον αφορά την προθυμία να πληρώσουν (WTP), οι παραγωγοί δήλωσαν για την καλλιέργεια ντομάτας ότι θα πλήρωναν την ίδια τιμή σε ποσοστό 19,85% για τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένου νερού - σε σύγκριση με τη χρησιμοποίηση πόσιμου νερού - και σε χαμηλότερη τιμή το 69,16% (οι υπόλοιποι δυσκολεύονταν να δώσουν απάντηση). Η

μέση τιμή από τις απαντήσεις των παραγωγών προκύπτει 0,17€/m³. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αναλφάβητοι παραγωγοί είναι πιθανό να δίνουν μεγαλύτερη τιμή από ό,τι εκείνοι της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, αναγνωρίζοντας στο επαναχρησιμοποιήσιμο νερό μεγαλύτερη αξία, λόγω και των θρεπτικών στοιχείων που περιέχει. Εκτός λοιπόν από το νερό, υπάρχει και η δυνατότητα εξοικονόμησης λιπασμάτων, που συνεπάγεται χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Ένας λόγος, που μπορεί να αποδοθεί η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών πληθυσμιακών ομάδων, είναι η μεγαλύτερη χρονικά πρακτική ενασχόλησή των αναλφάβητων με τη γεωργική εργασία, άρα και η μεγαλύτερη πρακτική εμπειρία. Η μέση τιμή που υπολογίστηκε ότι θα αγόραζαν οι καταναλωτές ελαιόλαδο, που θα προέκυπτε με άρδευση επεξεργασμένου νερού, υπολογίστηκε 2,65€ ανά λίτρο, δηλαδή θα πλήρωναν μία τιμή που αποτελούσε το 88% της τότε λιανικής τιμής του ελαιολάδου (Menegaki et al., 2007). Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 8-1.

Πίνακας 8-1 Προθυμία χρήσεως (WTU) και πληρωμής (WTP) για παραγωγούς και καταναλωτές ελαιολάδου και ντομάτας (Πηγή: Menegaki et al., 2007).

		WTU	WTP		
		Προθυμία Χρήσεως	Προθυμία Πληρωμής		
Παραγωγοί - Πότισμα με επεξεργασμένο νερό	Ελαιόδεντρα	83,00%			
	Ντοματιές	65,30%	19,85% ίδια τιμή με πόσιμο	69,16% χαμηλότερη τιμή από πόσιμο	Μέση Τιμή απαντήσεων 0,17 (€/m ³)
Καταναλωτές - Κατανάλωση παραγόμενων προϊόντων	Ελαιόλαδο	92,70%	2,65 (€/L) (88% της λιανικής τιμής)		
	Ντομάτες	63,20%			

Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που για οποιουδήποτε λόγους οι καταναλωτές δεν επιθυμούν την κατανάλωση προϊόντων, για την παραγωγή των οποίων χρησιμοποιήθηκε επεξεργασμένο νερό, τότε είναι αναμενόμενο (εφόσον θεωρούμε ότι οι καταναλωτές πρέπει να γνωρίζουν τι καταναλώνουν) ότι ούτε και οι παραγωγοί θα είναι πρόθυμοι να κάνουν χρήση του νερού αυτού, όπως και το αντίστροφο.

8.4 Η Αποδοχή του Γκρι-Πράσινου Νερού στη Μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης

8.4.1 Περιγραφή

Στη μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης της Ισπανίας έχει ξεκινήσει να επαναχρησιμοποιείται το γκρι νερό ευρέως από το 2004, οπότε υπάρχει μια σχετική εμπειρία που βασίζεται σε πραγματική εφαρμογή. Τα αποτελέσματα της εργασίας των Domènech and Saurí (2010) αφορούν αποκλειστικά την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού στο καζανάκι για τον καθαρισμό της τουαλέτας. Η διαχείριση του γκρι νερού (συλλογή, επεξεργασία, επαναδιανομή) γίνεται σε συλλογικό επίπεδο, με το κάθε σύστημα να εξυπηρετεί κατά μέσο όρο 21 διαμερίσματα. Οι τύποι των συστημάτων περιγράφονται παραστατικά στο Σχήμα 8-4.

8.4.2 Προβλήματα – Αστοχίες

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι από τους 4 τύπους συστημάτων επεξεργασίας A, B, C, D (Σχήμα 8-4) που εφαρμόζονται (2 τύποι φυσικής επεξεργασίας και 2 τύποι βιολογικής επεξεργασίας), οι τύποι συστημάτων φυσικής επεξεργασίας A, B, (χρήση φίλτρων, καθίζησης και απολύμανσης με υποχλωριώδες νάτριο NaClO-χλωρίνη) έδωσαν εκροές υψηλής

θολότητας (22 και 19 NTU, ενώ κάποια προτεινόμενα όρια επιτρέπουν < 2 NTU). Ακόμη, σε έναν από τους 2 τύπους φυσικής επεξεργασίας και συγκεκριμένα στον τύπο Α βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις *E. coli* (2400 UCF/100mL), αλλά πιθανότατα οι χρήστες αυτό δεν το γνωρίζουν. Η αστοχία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι είχε τελειώσει το υλικό για την απολύμανση (υποχλωριώδες νάτριο), γεγονός που καταδεικνύει την ανάγκη αυτοματισμών στον έλεγχο και οργάνωσης των διαδικασιών επιτήρησης και συντήρησης. Στο δεύτερο σύστημα φυσικής επεξεργασίας (τύπος Β) παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου (4ppm), κάτι που επισημάνθηκε και από μερικούς χρήστες, ως αρνητική αίσθηση. Επίσης οι κανονισμοί ορίζουν ότι μόνο το νερό του μπάνιου επιτρέπεται να συνδέεται με το σύστημα του γκρι νερού, παρόλα αυτά διαπιστώθηκε ότι είχαν πραγματοποιηθεί και συνδέσεις από κουζίνες και πλυντήρια ρούχων. Άλλη αστοχία που παρατηρήθηκε ήταν η υπερδιαστασιολόγηση των περισσότερων δεξαμενών, με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται το γκρι νερό, θέτοντας σε εκκίνηση τη διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, προκαλώντας αισθητά δυσάρεστες οσμές. Η προσωρινή διακοπή της λειτουργίας ενός συστήματος λόγω επαναλαμβανόμενης απόρριψης σκουπιδιών στη μπανιέρα από ένα χρήστη ήταν ένα ακόμη γεγονός που σημειώθηκε. Επισημαίνεται ακόμα ότι, η παραγόμενη εκροή γκρι νερού, σύμφωνα και με τους τοπικούς κανονισμούς πρέπει να χρωματίζεται με μία μπλε χρωστική ουσία, ώστε να ξεχωρίζει εμφανώς το επεξεργασμένο γκρι από το πόσιμο νερό (Domènech and Saurí 2010).

Type of treatment	Type of system			
	Type A	Type B	Type C	Type D
Treatment	Physical	Physical	Biological	Biological
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Filtration (Nylon filter)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Sedimentation</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Disinfection (Hypochlorite)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Sedimentation</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Filtration (Silex anthracite filter and cartridge filter)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Sedimentation</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Disinfection (Hypochlorite)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Filtration (Cylindrical sieve)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Oxygenation (OM degradation)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Disinfection (UV light)</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Oxygenation (OM degradation)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Filtration (Filter of 20 μm)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Disinfection (UV light or hypochlorite)</div>
Capital cost (€/household)	195	428	1018	691

Σχήμα 8-4 Οι 4 τύποι συστημάτων επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται και το αντίστοιχο κόστος κεφαλαίου για τα κύρια συστήματα του δείγματος (Πηγή: Domènech and Saurí 2010).

8.4.3 Γενικά Αποτελέσματα Αποδοχής

Η αποδοχή στην περιοχή εκείνη της Βαρκελώνης φάνηκε να είναι πολύ υψηλή πριν την έναρξη της χρήσης του γκρι νερού. Μόνο ένα 10% ήταν σχετικά αδιάφορο για την εξέλιξη αυτή και κανείς δεν ήταν αρνητικός. Η ιδέα της εξοικονόμησης νερού αποτελεί από μόνο του ένα σημαντικό κίνητρο για τους πολίτες, που αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο την αξία του, όπως και η έννοια της αναβάθμισης του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια όμως, έπειτα από

χρονικό διάστημα εμπειρίας το πολύ 3 χρόνων, ένα ποσοστό 20% φαίνεται να μετανιώνει για την επιλογή: 10% θα προτιμούσαν το συμβατικό σύστημα αποχέτευσης και 10% θα προτιμούσαν ένα άλλο εναλλακτικό σύστημα εξοικονόμησης νερού π.χ. σύστημα αξιοποίησης βρόχινου νερού. Μία δυσαρέσκεια από την παρεχόμενη υπηρεσία του συστήματος αποτυπώνεται και στο γεγονός ότι κατά ένα ποσοστό 35% δηλώνουν πολύ δυσαρεστημένοι ή απλώς δυσαρεστημένοι και 12,5% δηλώνουν ούτε δυσαρεστημένοι ούτε ικανοποιημένοι.

8.4.4 Αντιληπτός Κίνδυνος για Υγεία

Πάντως, το 84,2% αισθάνεται ότι ο κίνδυνος για την υγεία είναι πολύ χαμηλός ή απλά χαμηλός και το 6,7% αισθάνεται ότι ο κίνδυνος για την υγεία δεν είναι ούτε χαμηλός ούτε υψηλός. Πιθανόν, αυτά τα υψηλά ποσοστά αποδοχής να οφείλονται στη χαμηλή επαφή του νερού με τον άνθρωπο (*Domènech and Saurí 2010*).

8.4.5 Ικανοποίηση ως της τη Λειτουργία

Η κριτική που γίνεται από τους χρήστες εστιάζεται κυρίως στα αισθητικά χαρακτηριστικά του νερού που επαναχρησιμοποιείται και κυρίως οι δυσάρεστες οσμές. Τα παράπονα αυτά είναι εμφανώς λιγότερα από τους χρήστες των συστημάτων τύπου C (το οποίο είναι και το ακριβότερο από τα 4), δηλαδή του ενός από τους 2 τύπους συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας (περιλαμβάνει φίλτρο κυλινδρικού κοσκίνου, αποσύνθεση οργανικού υλικού με παροχή οξυγόνου, απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία UV). Για τους χρήστες των συστημάτων φυσικής επεξεργασίας A, B, οι οσμές αυτές σχετίζονται και με την έντονη οσμή της χλωρίνης, ενώ για τον ίδιο λόγο υπάρχει και η ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκτεταμένης αυτής χρήσης. Οι οσμή της χλωρίνης δεν απασχολεί τους χρήστες των συστημάτων τύπου C, D, αφού σε αυτά η απολύμανση διεξάγεται με υπεριώδη ακτινοβολία UV. Όσον αφορά τη χρήση της μπλε χρωστικής ουσίας, διαπιστώνεται ποικιλία αντιδράσεων, αλλά και παρανοήσεις ως προς τη χρησιμότητά της. Ένα ποσοστό 50% δηλώνει ικανοποίηση από τη χρήση του, 30,8% δηλώνει αδιαφορία και 15,5% δυσαρεστείται από τη χρήση αυτή, όμως οι λόγοι ποικίλουν για κάθε άποψη. Ενδεικτικό των παρανοήσεων ως προς τη χρησιμότητα της χρωστικής ουσίας είναι η αντίληψη ενός ποσοστού 14,2% ότι η ουσία αυτή απολυμαίνει το νερό και μειώνει τις δυσάρεστες οσμές, κάτι που δεν ισχύει. Γενικότερα πάντως, το επίπεδο ανεκτικότητας για τα αισθητικά χαρακτηριστικά διαφέρει ακόμα και για χρήστες του ίδιου συστήματος. Οι διαφορές αυτές οφείλονται μεταξύ άλλων στη διαφορετική αντίληψη των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων, αλλά και στο διαφορετικό βαθμό προσαρμογής των χρηστών στο νέο σύστημα.

8.4.6 Αντιληπτό Κόστος

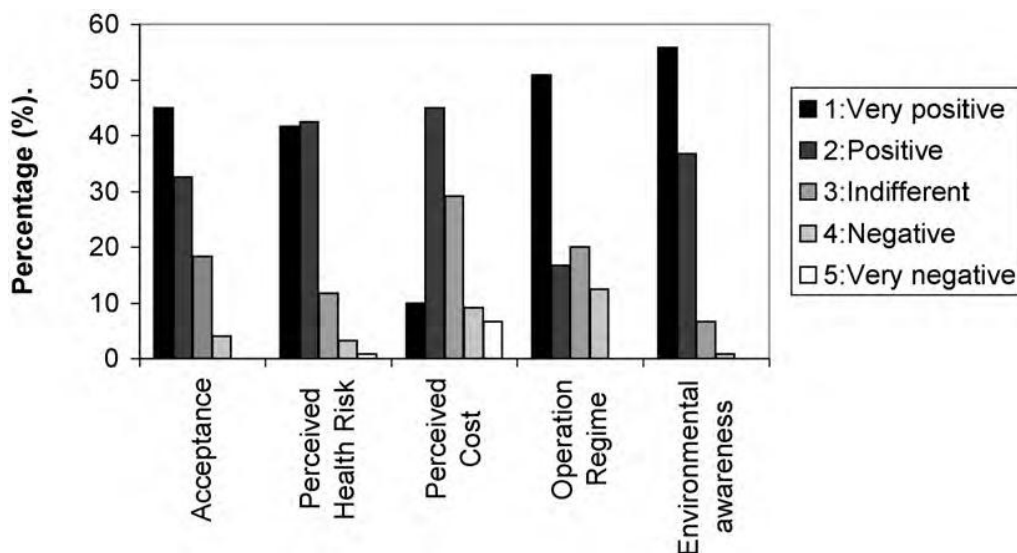
Το κόστος επιβάρυνσης των χρηστών γκρι νερού στη Βαρκελώνη δεν φαίνεται να είναι κάτι που τους προβληματίζει και τους αποθαρρύνει ιδιαίτερα. Μόνο το 30,9% αισθάνεται ότι είναι υψηλό, το 36,7% αγνοεί το κόστος του συστήματος και το υπόλοιπο 32,4% το αντιλαμβάνεται ως αρμόζον ή και χαμηλό. Βέβαια, ο μέσος όρος του κόστους κεφαλαίου ανέρχεται σε 516€ ανά διαμέρισμα, που αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 0,2% του συνολικού κόστους ενός καινούριου διαμερίσματος, οπότε το κόστος αυτό κεφαλαίου επισκιάζεται. Επίσης, το κόστος συντήρησης του συστήματος γκρι νερού πληρώνεται από κοινού με άλλους λογαριασμούς, οπότε το κόστος του συστήματος γκρι νερού δεν είναι ξεκάθαρα αισθητό από τους χρήστες.

Η εξοικονόμηση χρημάτων δεν θεωρείται ένα σημαντικό όφελος από τους χρήστες (συγκέντρωσε 2,95 πόντους, στην κλίμακα 0: πολύ σημαντικό όφελος έως 5: καθόλου όφελος), άλλωστε φαίνεται να γνωρίζουν ότι πέρα από τα εξωτερικά οφέλη η χρήση αυτού του συστήματος δεν αποδίδει – άμεσα τουλάχιστον – κάποιο χρηματικό όφελος. Το κόστος ενός μέσου νοικοκυριού στην Καταλονία από τη χρήση πόσιμου νερού για το καζανάκι της τουαλέτας υπολογίζεται 65€ ανά έτος, ενώ το κόστος συντήρησης των συστημάτων γκρι νερού, ανηγμένο ανά νοικοκυριό, εκτιμάται κατά μέσο όρο 70€ ανά έτος.

8.4.7 Γενική Αποτίμηση

Το επίπεδο όμως ικανοποίησης συσχετίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με την αποτελεσματικότητα λειτουργίας του συστήματος. Τεχνικές αστοχίες, όπως εκείνες που αναφέρθηκαν νωρίτερα, είναι πιθανό να έχουν πολύ αρνητικό αντίκτυπο στο βαθμό αποδοχής τέτοιων συστημάτων από την κοινωνία. Αναμένεται όμως ότι στην πορεία του χρόνου η απόκτηση εμπειρίας, η τεχνολογική εξέλιξη και η κατάλληλη επιλογή συσκευών θα μειώνει συνεχώς τις πιθανότητες διαφόρων αστοχιών.

Στο γενικό πλαίσιο, η κοινωνική αποδοχή των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού στη μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης θεωρείται αρκετά ικανοποιητική. Στο Σχήμα 8-5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, σε ποσοστά, των βαθμών αποδοχής από 1: πολύ θετική έως 5: πολύ αρνητική, σε κάθε μία από τις τέσσερις βασικές κατηγορίες κριτηρίων, τα οποία συνιστούν τη συνολική κοινωνική αποδοχή (σύμφωνα με την ανάλυση της έρευνας), η οποία συνολική αποδοχή επίσης παρουσιάζεται στην πρώτη στήλη. Οι τέσσερις αυτές κατηγορίες είναι ο αντιληπτός κίνδυνος για την υγεία, το αντιληπτό κόστος, το καθεστώς λειτουργίας και η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση.



Σχήμα 8-5 Αποτελέσματα βαθμών αποδοχής, με ποσοστό προτίμησης, σε κάθε κατηγορία κριτηρίου αποδοχής και για τη συνολική αποδοχή (Πηγή: Domènech and Saurí 2010).

8.5 Άλλα Εφαρμοσμένα Παραδείγματα

8.5.1 Νότια Αυστραλία

Στη ανασκόπηση των Mankad and Tapsuwan (2011) αναφέρεται η μελέτη των Marks et al. (2003), η οποία ερευνά την κοινωνική αποδοχή ενός συστήματος επαναχρησιμοποίησης

μαύρου και γκρι νερού για μη πόσιμη χρήση που πρόκειται να λειτουργήσει, σε επίπεδο ομάδων κατοικιών, στη νότια Αυστραλία. Το νερό θα επεξεργαζόταν επιτόπου, λίγο παράμερα όμως σε σχέση με την περιοχή των κατοικιών και θα μεταφερόταν με διπλό δίκτυο στις οικίες. Ανάμεσα στις επιτρεπόμενες εφαρμογές περιλαμβάνεται και η μη περιορισμένη άρδευση, δηλαδή η χρήση και σε καλλιέργειες καρπών. Η αποδοχή εκ μέρους του μελών της κοινωνίας φάνηκε στη μελέτη αυτή να είναι μεγάλη για τις μη πόσιμες χρήσεις, μειωνόταν όμως όσο η προτεινόμενη χρήση γινόταν πιο προσωπική και ερχόταν κοντά σε επαφή με τον άνθρωπο, καθώς υπήρχε μεγαλύτερη επιφυλακτικότητα για την ποιότητα του νερού και την ασφάλεια. Στη Βικτώρια της Αυστραλίας υπολογίστηκε μια μέγιστη τιμή WTP, προθυμία να πληρώσουν (Australian)\$7,66/kL (δολάριο Αυστραλίας), δηλαδή περίπου 3,83€, για επεξεργασμένο νερό από μεικτά λύματα κεντρικής εγκατάστασης, για οικιακή χρήση. Η τιμή αυτή είναι πολύ μεγάλη, τη στιγμή που για το πόσιμο νερό πλήρωναν (Australian)\$1,33/kL και ενδεικτική της μεγάλης εκτίμησης και της ανάγκης για νερό (Hurlimann, A.C., 2009).

8.5.2 Αρνητικό Αντίκτυπο από Παλαιότερη Πολιτική

Στην Αυστραλία επίσης, υπάρχει και ένα αρνητικό παράδειγμα άξιο αναφοράς, αφού η αξιοποίηση βρόχινου νερού δυσφημίστηκε με προπαγάνδα. Κατά το 19^ο αιώνα, η χρήση ιδιωτικών δεξαμενών (στέρνες), για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού, ήταν μια δημοφιλής πρακτική. Οι πολιτικές αρχές, στην προσπάθεια να διασφαλίσουν έσοδα από τα νέα συστήματα κεντρικής παροχής νερού και βλέποντας την επιμονή των κατοίκων, στη χρήση των ιδιωτικών δεξαμενών, επέβαλλαν υποχρεωτική πληρωμή ακόμα και σε εκείνους που δεν έκαναν χρήση των κεντρικών συστημάτων. Με την πολιτική αυτή αποθάρρυναν τη χρήση των στερνών, με το πρόσχημα των κινδύνων δημόσιας υγείας και ασφάλειας, παρόλο που ελάχιστες μελέτες ή δεδομένα βρέθηκαν που να στοιχειοθετούν κάτι τέτοιο. Ως αποτέλεσμα ήταν να μειωθεί η πρακτική αυτή, κυρίως στα αστικά κέντρα. Παράλληλα, παρέμεινε γενικώς μια αίσθηση αμφιβολίας σε κομμάτια της κοινωνίας, ότι είναι επικίνδυνη η υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων. Σήμερα πάντως πάνω από Ξεκατομμύρια κατοίκων χρησιμοποιούν το νερό της βροχής ακόμα και για πόση, χωρίς να αναφερθούν ιδιαίτερα προβλήματα. Άλλωστε έχει βρεθεί και επιστημονικά ότι υπό ορισμένες συνθήκες το νερό αυτό ικανοποιεί τα κριτήρια για να χαρακτηριστεί κατάλληλο ακόμη και για πόση (Coombes and Kuczera, 2002).

8.5.3 Αγγλία: Προτίμηση Κατανάλωσης Προσωπικών Λυμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας Jeffrey (2002), που αφορά περιοχές της Αγγλίας και της Ουαλίας, γίνεται πιο ξεκάθαρα αντιληπτή η διαφορά των ανθρώπων να προτιμούν να επαναχρησιμοποιήσουν νερό που προέρχεται από δικά τους λύματα παρά να προέρχονται από λύματα άλλων ανθρώπων. Η έρευνα διεξήχθη για νερό που προέρχεται από το μπάνιο και επεξεργάζεται σε κατάλληλη ποιότητα ώστε να είναι κατάλληλο για τη χρήση του στο καζανάκι της τουαλέτας. Συγκεκριμένα, το ποσοστό εκείνων που επιθυμούν την επαναχρησιμοποίηση νερού που προέρχεται από το δικό τους μπάνιο είναι 88%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό εάν προέρχεται το νερό από λύματα κάποιου γειτονικού σπιτιού είναι 56% και εάν προέρχονται από ολόκληρη τη γειτονιά είναι 49%. Στην ίδια έρευνα διαπιστώνεται ότι η αποδοχή της επαναχρησιμοποίησης νερού είναι μεγαλύτερη στις μη αστικές περιοχές παρά στις αστικές.

8.6 Ανακεφαλαίωση

Η κοινωνική αποδοχή είναι μία κρίσιμη παράμετρος για την επιτυχία ενός εναλλακτικού υδατικού συστήματος. Πολλοί παράγοντες συντελούν, ώστε να καταστεί μια τέτοια λύση αποδεκτή, ή μη αποδεκτή. Αυτοί μπορεί να είναι ατομικοί (προσωπική νοοτροπία, ανεκτικότητα...), πολιτικοί, οικονομικοί, πολιτιστικοί και ιστορικοί, κοινωνιολογικοί, αλλά εξαρτώνται και από την υπάρχουσα εμπειρία και την αποτελεσματική λειτουργία των υπαρχουσών εφαρμογών.

Μία μέθοδος για τον υπολογισμό και την προσομοίωση του μεγέθους της κοινωνικής αποδοχής περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι ο χαρακτηρισμός-εντοπισμός (Characterising) των βασικών στοιχείων-συνιστωσών, από τα οποία εξαρτάται η κοινωνική αποδοχή και ο εντοπισμός του τρόπου με τον οποίο αυτά αλληλεπιδρούν. Το δεύτερο στάδιο είναι η απεικόνιση (Representing), η κατασκευή της συνάρτησης αποδοχής. Η συνάρτηση αποδοχής για να δημιουργηθεί πρέπει να έχουν προσδιοριστεί οι εξισώσεις που αντιστοιχούν στις αλληλεπιδράσεις του πρώτου σταδίου, έπειτα να έχει αποδοθεί μία τιμή (π.χ. από -1 έως +1) για κάθε συνιστώσα της κοινωνικής αποδοχής και να έχει καθοριστεί ένα βάρος συμβολής για κάθε μία συνιστώσα. Το τρίτο στάδιο είναι η διασύνδεση (Interfacing), η αυτοματοποίηση της διαδικασίας αυτής και ο υπολογιστικός προγραμματισμός της, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί με την εισαγωγή των τιμών για κάθε συνιστώσα, να λαμβάνει άμεσα αποτελέσματα και το τελικό αποτέλεσμα της κοινωνικής αποδοχής συνολικά, για το σύστημα για το οποίο διεξήχθη η έρευνα.

Σε μία έρευνα που διεξήχθη στην Κρήτη για την επαναχρησιμοποίηση μεικτών λυμάτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας, όπου το οργανικό φορτίο απομακρύνεται κατά 99% και η απολύμανση απομακρύνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς, διαπιστώθηκαν ικανοποιητικά επίπεδα προθυμίας χρήσεως (WTU) (63% ÷ 83%) και σχετικά ικανοποιητικά επίπεδα προθυμίας πληρωμής (WTP), τόσο για παραγωγούς όσο και για καταναλωτές. Τα επίπεδα των μεγεθών WTU και WTP είναι χαμηλότερα για την άρδευση των φυτών ντομάτας με επεξεργασμένο νερό, εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας του καρπού και της μικρής απόστασης κατά την ανάπτυξή του από το έδαφος. Διαπιστώθηκε ακόμη μια έλλειψη εμπιστοσύνης από τη μεριά των καταναλωτών προς τους παραγωγούς και προς τις Αρχές της Πολιτείας (π.χ. ελεγκτικούς οργανισμούς).

Ικανοποιητικά κρίνονται και τα γενικά αποτελέσματα από μία έρευνα για την αποδοχή των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε μία περιοχή της Βαρκελώνης, στην Ισπανία. Το νερό αυτό χρησιμοποιείται στο καζανάκι της τουαλέτας. Ειδικότερα, πολύ μεγάλη ικανοποίηση υπάρχει από τους χρήστες, για την περιβαλλοντική σημασία της εφαρμογής αυτών των συστημάτων, ενώ δεν διαισθάνονται να υπάρχει ιδιαίτερος κίνδυνος για την υγεία, παρόλο που ερευνητές είχαν διαπιστώσει σε ένα σύστημα αστοχία στη διαδικασία απολύμανσης. Το αντιληπτό κόστος δεν φαίνεται να προβληματίζει ιδιαίτερα τους χρήστες, παρόλο που τα συστήματα αυτά δεν είναι οικονομικά αποδοτικά. Πάντως αναδεικνύεται ιδιαίτερα κρίσιμος ο παράγοντας της αποτελεσματικής και ικανοποιητικής λειτουργίας των συστημάτων αυτών, για τη διαμόρφωση της κοινωνικής αποδοχής.

Κατανάλωση Ενέργειας

Για την παροχή μιας υπηρεσίας όπως η παροχή επεξεργασμένου γκρι νερού απαιτούνται διάφοροι πόροι. Βασικοί πόροι είναι οι χρηματικοί πόροι, τα υλικά, η ανθρώπινη εργασία και η ενέργεια.

9.1 Διάκριση Μορφών Ενεργειακής Κατανάλωσης και Υδατικών Υποσυστημάτων

Το παρόν κομμάτι αποτελεί μέρος της εργασίας των *Venkatesh and Brattebø (2011)*.

9.1.1 Άμεση και Έμμεση Κατανάλωση Ενέργειας

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, αυτή μπορεί να διαχωριστεί στην άμεση κατανάλωση ενέργειας και την έμμεση κατανάλωση ενέργειας. Η άμεση κατανάλωση ενέργειας αφορά τη φάση της λειτουργίας (operation) και της συντήρησης (maintenance) (O & M phases) όλων των εμπλεκόμενων υποσυστημάτων. Η έμμεση κατανάλωση ενέργειας αφορά την ενέργεια που εσωκλείεται (δηλαδή έχει καταναλωθεί για την παραγωγή) στα υλικά και τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται. Ακόμα, υπάρχει και μια ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη φάση της εγκατάστασης – κατασκευής του συστήματος και της αποδόμησής του.

Οι συνήθεις μορφές της ενέργειας που καταναλώνονται στη φάση λειτουργίας και συντήρησης είναι η ηλεκτρική ενέργεια και ο ηλεκτρισμός. Οι πηγές πρωτογενούς ενέργειας μπορεί να είναι ανανεώσιμες, είτε μη ανανεώσιμες. Το μέγεθος της ενέργειας που καταναλώνεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού, στα δίκτυα νερού και στα αντλιοστάσια, κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης σχετίζεται άμεσα τόσο με την ποσότητα όσο και με την ποιότητα του νερού που διατίθεται προς επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση, ή με άλλα λόγια με το επίπεδο της υπηρεσίας που προσφέρεται στους καταναλωτές.

9.1.2 Διάκριση της Κατανάλωσης Ενέργειας στα Βασικά Υποσυστήματα του Τεχνικού Υδατικού Συστήματος

Στον Πίνακα 9-1 παρουσιάζονται τα βασικά υποσυστήματα (αντλιοστάσια, αγωγοί μεταφοράς, εγκαταστάσεις επεξεργασίας) ενός τεχνικού υδατικού συστήματος και εντοπίζονται οι διεργασίες που απαιτούν ενέργεια.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας συνήθως παίρνουν ενέργεια με ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο, είτε και με την κατανάλωση καυσίμων. Η κύρια διεργασία κατανάλωσης ενέργειας είναι η διαδικασία της επεξεργασίας που πραγματοποιείται με σκοπό τον καθαρισμό του νερού. Βέβαια, η ενέργεια που απαιτείται εξαρτάται και από τη μέθοδο της επεξεργασίας που επιλέγεται.

Για τους αγωγούς μεταφοράς η κύρια διεργασία κατανάλωσης ενέργειας είναι οι εργασίες συντήρησης και οι εργασίες αποκατάστασης σε περίπτωση βλαβών. Συνήθως

καταναλώνεται πετρέλαιο ως καύσιμο για τη μηχανική λειτουργία του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Ως μέγεθος, θεωρείται αμελητέα η ποσότητα αυτή ενέργειας συγκριτικά με τη συνολική ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης. Μια ποσότητα πετρελαίου που έχει υπολογιστεί ότι καταναλώνεται σε εργασίες αποκατάστασης σωληνώσεων μετρίου μεγέθους, είναι 1,5 λίτρο ανά μέτρο σωλήνα.

Οι σταθμοί άντλησης (αντλιοστάσια) καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου για να προσδώσουν πίεση στις υδατικές ροές, όπου είναι απαραίτητο κι ένα μικρό ποσοστό πετρελαίου ως καυσίμου για γενικές εργασίες συντήρησης. Σημειώνεται ότι στην ενέργεια για τις εργασίες συντήρησης μπορεί να υπαχθεί και αυτή που απαιτείται για τις μετακινήσεις (π.χ. των εργατών) με όχημα, όπου καταναλώνεται κάποιο καύσιμο.

Τα συστήματα ελέγχου συνιστούν άλλη μια διεργασία που απαιτεί ενεργειακή κατανάλωση. Μπορεί να βρίσκονται σε διάφορα υποσυστήματα και σε δεξαμενές αποθήκευσης νερού.

Πίνακας 9-1 Διεργασίες που απαιτούν ενέργεια κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης
(Πηγή: Venkatesh and Brattebø, 2011).

Υποσύστημα	Διεργασία κατανάλωσης ενέργειας - φάση λειτουργίας και συντήρησης
Αντλιοστάσιο	Άντληση
	Συντήρηση αντλιοστασίου
Αγωγοί Μεταφοράς	Εργασίες Αποκατάστασης
	Συντήρηση Σωληνώσεων
Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας	Άντληση εντός της Εγκατάστασης Επεξεργασίας
	Επεξεργασία-Καθαρισμός Νερού (Ενδεχόμενος Φωτισμός)
	Συντήρηση Μονάδας
	Συστήματα Ελέγχου

Οι σημαντικότερες όμως ποσότητες ενέργειας, καταναλώνονται για τις εξής διεργασίες (όπου αυτές εφαρμόζονται):

- Άντληση για τη διανομή του επεξεργασμένου νερού
- Ενέργεια για την κίνηση του νερού εντός των εγκαταστάσεων επεξεργασίας
- Ενέργεια για αερισμό δεξαμενών βιολογικής επεξεργασίας
- Ενέργεια για συστήματα ελέγχου και ηλεκτρομηχανολογικές συσκευές

9.2 Μονάδες Μέτρησης Ενεργειακής Κατανάλωσης - Δείκτες

Το παρόν κομμάτι αποτελεί μέρος της εργασίας των Parkes et al. (2010).

Για την αξιολόγηση της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας της λειτουργίας του συστήματος, αναφορικά με την ενέργεια, χρησιμοποιούνται κάποιοι δείκτες μέτρησης της ενεργειακής κατανάλωσης, του κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ένας συχνά

χρησιμοποιούμενος παρονομαστής είναι ο πληθυσμός που εξυπηρετείται. Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί για το σύστημα (είτε για κάθε υποσύστημα) η ειδική κατανάλωση ενέργειας, η ειδική χρηματική δαπάνη για τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια και η ειδική επίπτωση στο περιβάλλον λόγω της κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή σε μια κοινή βάση, ανά κάτοικο. Εναλλακτικά, ένας άλλος κοινός παρονομαστής που χρησιμοποιείται είναι η ποσότητα του νερού που διατίθεται προς επεξεργασία, οπότε οι δείκτες αποτελούν μεγέθη, τα οποία τίθενται υπό σύγκριση σε μια βάση ανά μονάδα όγκου υγρού.

Οι δείκτες ειδικού κόστους ενέργειας εξαρτώνται κυρίως από το κόστος των μονάδων των χρησιμοποιούμενων στοιχείων ενέργειας (π.χ. €/kWh, €/λίτρο πετρελαίου...), τον όγκο του νερού που μεταφέρεται προς επεξεργασία, από την αποδοτικότητα λειτουργίας του συστήματος και από τον πληθυσμό που εμπλέκεται στο σύστημα αυτό.

9.2.1 Ενεργειακό Αποτύπωμα Άνθρακα

Όπως τα συστήματα αποχέτευσης και επεξεργασίας μεικτών λυμάτων (μαύρου νερού), έτσι και τα συστήματα γκρι νερού χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για τις αντλίες, για τα συστήματα επεξεργασίας, αλλά και για τα συστήματα ελέγχου (*Parkes et al., 2010*). Οι ενεργειακές λειτουργικές ανάγκες είναι δυνατό να κατέχουν ένα αρκετά μεγάλο μέρος των επιπτώσεων του κύκλου ζωής του συστήματος (Life Cycle Impact), ιδιαίτερα εκείνες που απαιτούνται για τη συνεχή λειτουργία. Βεβαίως, για να διερευνηθεί κανείς τις ενεργειακές επιπτώσεις του κύκλου ζωής του συστήματος, υπάρχουν αβεβαιότητες του μέλλοντος, που δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν. Τέτοιες είναι το ενεργειακό αποτύπωμα από την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο δύναται να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), αλλά και ο βαθμός εξάρτησης από το δίκτυο για την προμήθεια ενέργειας, οι μεταβολές του μεγέθους της βροχόπτωσης (σε περίπτωση συνδυασμού με συστήματα συλλογής βρόχινου νερού) και η μεταβολή της ανά κάτοικο ζήτησης νερού.

9.2.1.1 Αποτύπωμα Άνθρακα για τη Διάρκεια Ζωής (Lifetime Carbon Footprints)

Μία μονάδα αξιολόγησης των ενεργειακών επιπτώσεων ενός συστήματος είναι το ενεργειακό αποτύπωμα άνθρακα (carbon footprints). Το αποτύπωμα άνθρακα για όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος (Lifetime Carbon Footprints) είναι το σύνολο των καθαρών εκπομπών άνθρακα που αντιστοιχεί ανά νοικοκυριό. Το σύνολο των καθαρών εκπομπών άνθρακα υπολογίζεται ως οι ενσωματωμένες στα υλικά, στην παραγωγή των προϊόντων και στις μεταφορές τους εκπομπές άνθρακα, συν (+) τις εκπομπές από τη φάση λειτουργίας, μείον (-) τις εξοικονομούμενες εκπομπές λόγω της μειωμένης παροχής νερού από το δίκτυο, μείον (-) τις εξοικονομούμενες εκπομπές λόγω της μειωμένης ποσότητας αποχετευόμενου νερού.

9.2.1.2 Ετήσιο Αποτύπωμα Άνθρακα

Το παραπάνω αποτύπωμα (Ζωής) ανά νοικοκυριό, διαιρεμένο με τα χρόνια λειτουργίας του συστήματος μας δίνει το Ετήσιο Αποτύπωμα Άνθρακα (Annualised Carbon Footprints), ώστε να έχουμε μια εικόνα των σχετικών επιπτώσεων κατά τη λειτουργία, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων κατασκευής και αντικατάστασης εξαρτημάτων. (Ίσως θα ήταν πληρέστερο να συμπληρωθούν και οι ενεργειακές επιπτώσεις από την απόσυρση του συστήματος μετά το πέρας του κύκλου ζωής). Το ετήσιο αποτύπωμα

διαιρεμένο με την εξοικονομούμενη ποσότητα νερού μας δίνει το Ανηγμένο/Κανονικοποιημένο Αποτύπωμα Άνθρακα (Normalised), το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύγκριση διαφορετικών εφαρμογών αξιοποίησης γκρι και βρόχινου νερού.

9.2.1.3 Μέσο Στοιχειώδες Κόστος Άνθρακα (Average Incremental Carbon Cost - AICC)

Τέλος, η παρούσα χρηματική αξία των εκπομπών άνθρακα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής διαιρεμένη με την παρούσα χρηματική αξία του εξοικονομούμενου νερού μας δίνει το Μέσο Στοιχειώδες Κόστος Άνθρακα (Average Incremental Carbon Cost - AICC), μετρούμενο σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδα όγκου εξοικονομούμενου νερού. Ο δείκτης αυτός είναι χρήσιμος για τη σύγκριση των ενεργειακών επιπτώσεων μεταξύ μελλοντικών σεναρίων (Parkes et al., 2010).

9.3 Παράδειγμα Παραμέτρων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Συμβατικό Σύστημα Αποχέτευσης και Επεξεργασίας Λυμάτων - Φάση Λειτουργίας και Συντήρησης

Το παρόν κομμάτι αποτελεί μέρος της εργασίας των Venkatesh and Brattebø (2011).

Εδώ γίνεται μια αναφορά σε μια μελέτη του αστικού υδατικού συστήματος της πόλεως του Όσλο της Νορβηγίας. Αυτό αναλύεται στα υποσυστήματά του (ύδρευση και αποχέτευση), αλλά εμάς μας ενδιαφέρουν τα υποσυστήματα που αφορούν την αποχέτευση και επεξεργασία των λυμάτων, η οποία όμως γίνεται με συμβατικά συστήματα μεικτών λυμάτων. Ένας λόγος που γίνεται εδώ αυτή η αναφορά είναι η δυσκολία εύρεσης επαρκών στοιχείων αναλυτικών αποτελεσμάτων της ενεργειακής κατανάλωσης για συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού. Όμως, η διαδικασία υπολογισμού και γενικότερα ο τρόπος εφαρμογής και λειτουργίας είναι όμοιος με τα συστήματα γκρι νερού. Έτσι, η αναφορά αυτή αποτελεί μια αφετηρία, μας δίνει επί τη ευκαιρία τη δυνατότητα να δούμε μια τάξη μεγέθους της ενεργειακής κατανάλωσης στα συμβατικά συστήματα, να διευκολυνθεί η σύγκριση με τα συστήματα γκρι νερού και να δοθεί μια δυνατότητα προσέγγισης των ωφελειών, δηλαδή της εξοικονομούμενης ενέργειας, από την υιοθέτηση συστημάτων επαναχρησιμοποίησης, τα οποία μειώνουν την αποχετευόμενη ποσότητα λυμάτων στο κεντρικό σύστημα, άρα και την απαιτούμενη ενέργεια.

9.3.1 Μεγέθη Ενεργειακής Κατανάλωσης

Για να αποκτήσουμε μια εικόνα της τάξεως μεγέθους της κατανάλωσης ενέργειας ανά υποσύστημα, παρατίθενται το Σχήμα 9-1. Στο σχήμα αυτό, παρουσιάζεται το μέγεθος της ανά κάτοικο κατανάλωσης ενέργειας από τη λειτουργία του συστήματος ύδρευσης, αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων, για κάθε ημερολογιακό έτος από το 2000 έως το 2006. Το μέγεθος αυτό της ενέργειας παρουσιάζεται κατανομημένο, ανάλογα με την ενέργεια που καταναλώνεται αντιστοιχιζόμενη σε κάθε υποσύστημα. Οι συντομογραφίες αποδίδονται ως εξής: WTP: Μονάδα Επεξεργασίας Νερού (για ύδρευση), Water pumping: Άντληση Νερού, Water pipelines: Υδρευτικοί Σωλήνες, Sewage pumping: Άντληση Λυμάτων, Wastewater pipelines: Σωλήνες μεταφοράς Λυμάτων, WWTPs: Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων. Παρατηρούμε ότι το υποσύστημα της επεξεργασίας των λυμάτων, σε όλη την περίοδο μελέτης, αποσπά ένα συντριπτικά μεγάλο μερίδιο της κατανάλωσης ενέργειας ανά

κάτοικο, ιδιαίτερα σε σύγκριση με τα υποσυστήματα άντλησης λυμάτων και μεταφοράς λυμάτων που επίσης μας ενδιαφέρουν περισσότερο στην παρούσα εργασία.

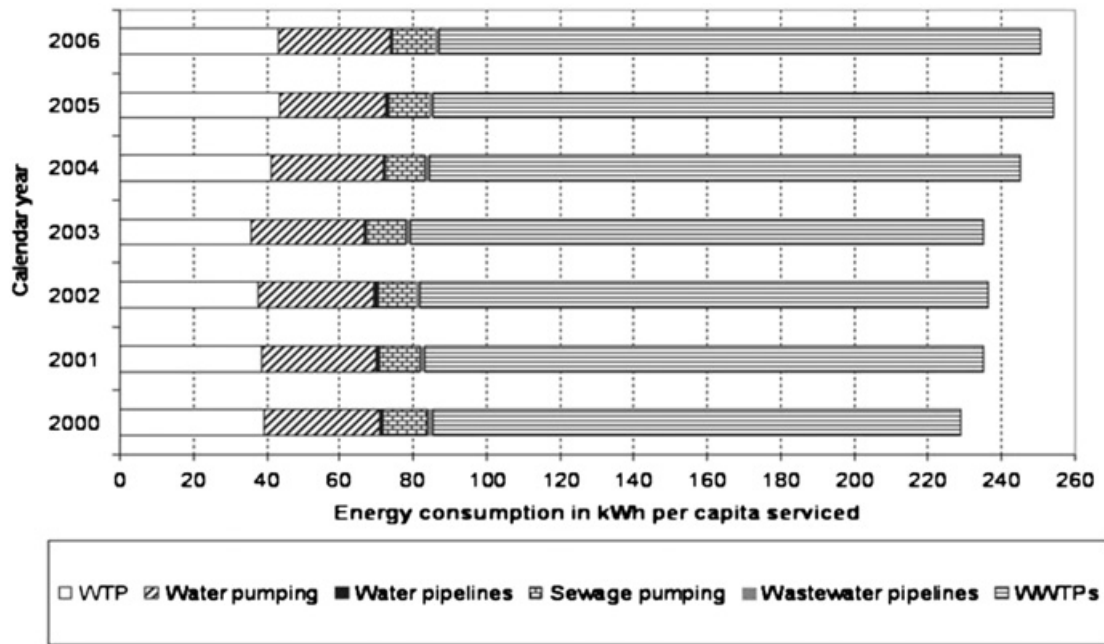
Πρέπει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο αστικό σύστημα, ένα μεγάλο μέρος θερμικής απαιτούμενης ενέργειας (για επεξεργασία, θέρμανση χώρων) καλύπτεται από την εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου. Συγκεκριμένα, η καύση βιοαερίου και πετρελαίου θέρμανσης καλύπτει σχεδόν το 43% της κατανάλωσης ενέργειας του συνόλου των προαναφερθέντων υποσυστημάτων κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης. Το υπόλοιπο καλύπτεται με ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου, ενώ η μηχανική ενέργεια που παρέχεται με την κατανάλωση πετρελαίου ντίζελ είναι συγκριτικά αμελητέα.

Η μέση ετήσια τιμή για τα επτά έτη της ανά κάτοικο κατανάλωσης ενέργειας για την επεξεργασία μόνο των λυμάτων είναι 157,1 kWh, ενώ η μέση ανά κάτοικο κατανάλωση ενέργειας για ολόκληρο το σύστημα είναι 240,7 kWh. Στο μέγεθος αυτό κατανάλωσης συμπεριλαμβάνεται και η κατανάλωση βιοαερίου (που παράγεται από τα λύματα) σαν να επρόκειτο για εξωτερικό πόρο.

Εναλλακτικά, με βάση την ανά κυβικό μέτρο αποχέτευση και επεξεργασία λυμάτων, η μέση κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται ότι είναι 0,8 kWh/m³. Η κατανάλωση αυτή αφορά μόνο τα τρία κατάντη υποσυστήματα, δηλαδή των αγωγών μεταφοράς λυμάτων, της άντλησης λυμάτων και των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων (*Venkatesh and Brattebø, 2011*)³.

Ακόμα, υπάρχει - από μια βιβλιογραφική ανασκόπηση - στατιστική αναφορά της ενεργειακής κατανάλωσης, που προκύπτει από διάφορες εταιρίες ύδρευσης του Ηνωμένου Βασιλείου, με μονάδα μέτρησης το αποτύπωμα άνθρακα. Η διάμεσος των τιμών έντασης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, για την άντληση λυμάτων (μαύρου νερού) εκτιμάται στα 104,3 kg CO₂e (*Parkes et al., 2010*).

³ Η αντίστοιχη κατανάλωση των ανάντη υποσυστημάτων υπολογίζεται 0,4 kWh/m³.

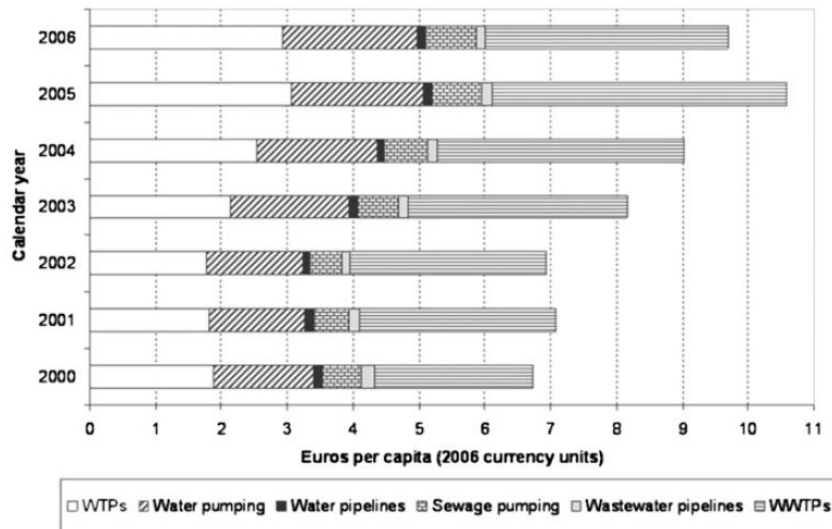


Σχήμα 9-1 Κατανομή της ανά κάτοικο κατανάλωσης ενέργειας κατά υποσυστήματα, για επτά έτη (Πηγή: Όσλο, Venkatesh and Brattebø, 2011)

9.3.2 Κόστος Ενεργειακής Κατανάλωσης

Στο Σχήμα 9-2 παρουσιάζεται η κατανομή του ανά κάτοικο κόστους κατά τα επιμέρους υποσυστήματα, για τα ίδια επτά ημερολογιακά έτη. Από τη στιγμή που ο μεγάλος όγκος της ενέργειας που καταναλώνεται προέρχεται από το ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου, το χρηματικό κόστος θα εξαρτάται κυρίως από την τιμή της μονάδας του ηλεκτρικού ρεύματος. Η τιμή της μονάδας για παράδειγμα μειώθηκε κατά 18,7% το έτος 2006 σε σχέση με το έτος 2005 και το αποτέλεσμα της μείωσης του συνολικού κόστους αποτυπώνεται ξεκάθαρα στο σχήμα. Το ποσοστιαίο ενεργειακό κόστος των υποσυστημάτων επεξεργασίας επί του συνολικού κόστους κυμαίνεται μεταξύ 64% και 71%, το αντίστοιχο κόστος των υποσυστημάτων άντλησης κυμαίνεται μεταξύ 26% και 31% και το κόστος του πετρελαίου που καταναλώνεται για την αποκατάσταση και συντήρηση των σωληνώσεων αποτελεί το 3% ÷ 5%. Φαίνεται και στο σχήμα ότι το ετήσιο ανά κάτοικο κόστος της κατανάλωσης ενέργειας για ολόκληρο το σύστημα κυμάνθηκε μεταξύ 6,5 € και 11 € (Ευρώ), στα επτά υπό μελέτη έτη. Στο κόστος αυτό βέβαια δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος παραγωγής ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο.

Σύμφωνα με μια άλλη μελέτη, σε ένα σύστημα επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα, τα έξοδα σε χημικά και ενέργεια αποτελούν το 4% ÷ 8% και το 40% αντιστοίχως όλων των εξόδων λειτουργίας και συντήρησης (Tsagarakis et al., 2003). Στην Ελλάδα, όμως, τα έξοδα σε ενέργεια εκτιμάται ότι είναι αρκετά υψηλότερα ανά κάτοικο σε σύγκριση με του Όσλο, διότι στο Όσλο είπαμε ότι αξιοποιείται το παραγόμενο βιοαέριο και παράγεται ενέργεια.



Σχήμα 9-2 Κατανομή του ανά κάτοικο κόστους ενέργειας (Φάση λειτουργίας και Συντήρησης), κατά τα επιμέρους υποσυστήματα, για επτά ημερολογιακά έτη (Πηγή: Όσλο, Venkatesh and Brattebø, 2011)

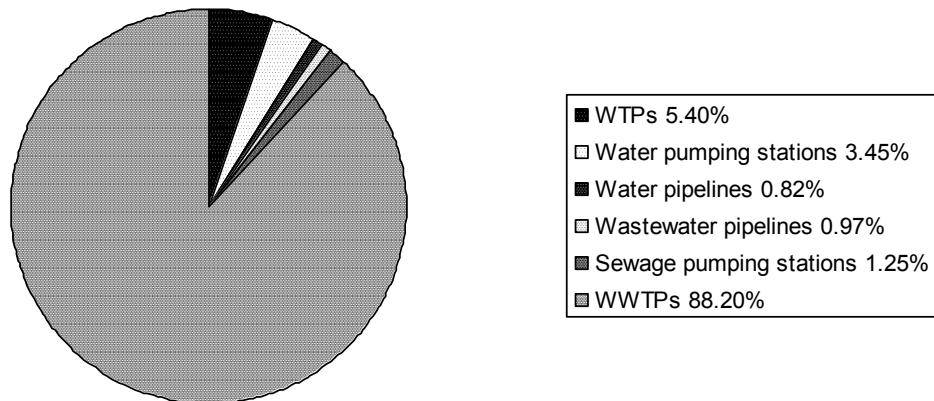
9.3.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Ενεργειακής Κατανάλωσης

Όσον αφορά τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανά κάτοικο, συγκεντρωτικά για τα επτά χρόνια, αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 9-3. Αφορούν τη μελέτη του αστικού υδατικού συστήματος στο Όσλο από τους Venkatesh and Brattebø (2011), όπου και δίνονται κάποιες πληροφορίες για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Διευκρινίζεται ότι πρόκειται για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποκλειστικά λόγω της κατανάλωσης ενέργειας, κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης. Παρατηρείται ότι το πολύ μεγάλο ποσοστό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων - λόγω της κατανάλωσης ενέργειας στο σύνολο του συστήματος - προέρχεται από την ενεργειακή κατανάλωση στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Αυτό οφείλεται στην κατά πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του δικτύου από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, όπως επίσης οφείλεται και στην οξίνιση που προκαλείται από το διοξείδιο του θείου και από τα οξείδια του αζώτου, που παράγονται από την καύση του βιοαερίου. Όσον αφορά όμως την επεξεργασία του γκρι νερού, δεν παράγεται ούτε καίγεται βιοαέριο, άρα δεν αναμένονται αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από αυτό. Επίσης το αν και κατά πόσον απαιτείται χρήση ηλεκτρικού ρεύματος ή καυσίμου για την επεξεργασία του γκρι νερού εξαρτάται από τη μέθοδο επεξεργασίας που επιλέγουμε.

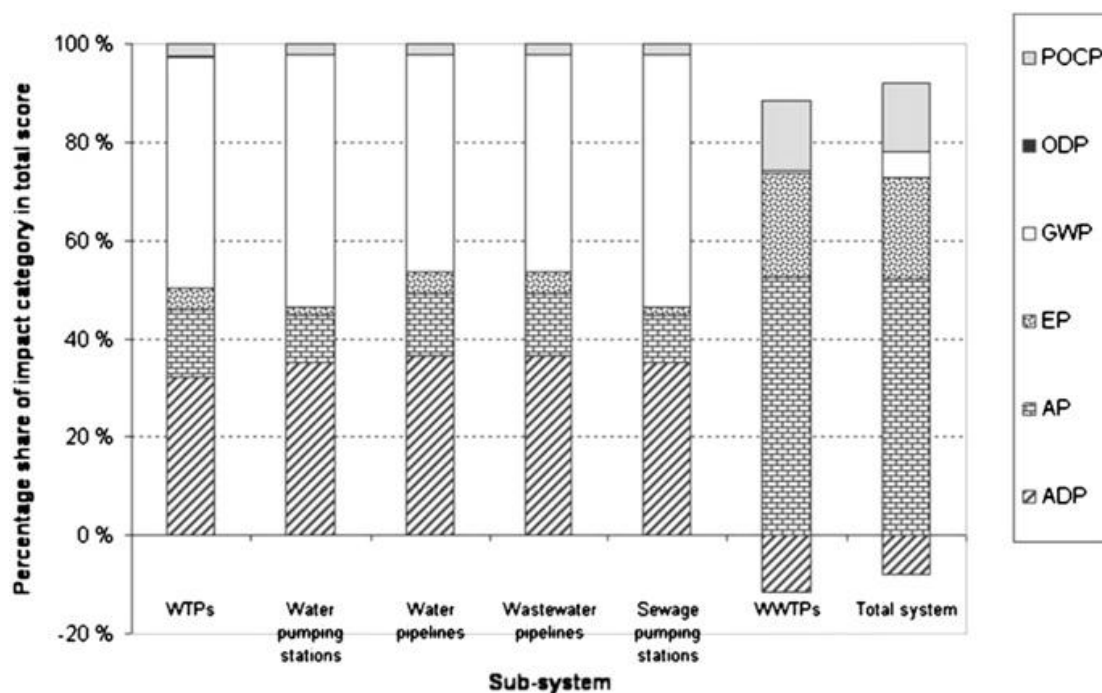
Στο Σχήμα 9-4 αναλύονται ποσοστιαία οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για κάθε υποσύστημα ξεχωριστά και στο σύνολο του συστήματος. Εμάς μας ενδιαφέρουν τρία από τα υποσυστήματα, δηλαδή οι σωλήνες μεταφοράς λυμάτων (wastewater pipelines), τα αντλιοστάσια λυμάτων (sewage pumping stations) και οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (WWTPs) αλλά και οι επιπτώσεις από ολόκληρο το σύστημα, από όπου φαίνεται η σημαντικότητα επίδραση των επιπτώσεων από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Για τα υποσυστήματα των σωλήνων μεταφοράς και των αντλιοστασίων η μεγαλύτερη επίπτωση είναι η υπερθέρμανση της ατμόσφαιρας (Global Warming, GWP), η οποία για τα υποσυστήματα αυτά καταλαμβάνει ποσοστό 50% ÷ 60%. Για τα ίδια αυτά υποσυστήματα, σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση (περίπου 30% ÷ 40%) αποτελεί η αβιοτική εξάντληση πόρων (abiotic depletion, AD) όπως είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το ουράνιο. Για το

υποσύστημα των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων παρατηρείται μεγάλο μέρος των επιπτώσεων να αποδίδεται στην οξίνιση (AP) που περιγράφηκε και προηγουμένως και μάλλον δεν αποτελεί πρόβλημα στην περίπτωση επεξεργασίας γκρι νερού. Ακολουθεί ο ευτροφισμός (EP) που οφείλεται στην αποβολή οξειδίων του αζώτου, ενώ καταγράφεται και μια αρνητική (δηλαδή προς το θετικότερο στην ουσία) αβιοτική εξάντληση πόρων (abiotic depletion). Αυτή οφείλεται στη ποσότητα φυσικού αερίου που έχει αποφευχθεί να παραχθεί και να χρησιμοποιηθεί από το δίκτυο, εξαιτίας της εκμετάλλευσης του βιοαερίου που παράγεται εντός του συστήματος.

Όπως προαναφέρθηκε το υποσύστημα επεξεργασίας των λυμάτων είναι αυτό που διαμορφώνει και την εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ολόκληρου του συστήματος, εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας στο υποσύστημα αυτό. Έτσι, η επίπτωση της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας - που αποτελεί σημαντική επίπτωση για τα άλλα υποσυστήματα αλλά μηδαμική για το υποσύστημα επεξεργασίας λυμάτων - αποτελεί τελικά ένα μικρό ποσοστό (6%) των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ολόκληρου του συστήματος.



Σχήμα 9-3 Κανονικοποιημένη κατανομή περιβαλλοντικών επιπτώσεων - λόγω ενεργειακής κατανάλωσης - ανά κάτοικο, για κάθε υποσύστημα (Πηγή: Venkatesh and Brattebø, 2011).



Σχήμα 9-4 Κατανομή περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατανάλωση ενέργειας για κάθε υποσύστημα (Πηγή: Venkatesh and Brattebø, 2011).

Βλέπουμε λοιπόν ότι οι επιρροή του συστήματος επεξεργασίας είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της μεταφοράς και άντλησης των λυμάτων. Οπότε, με το διαχωρισμό του γκρι από το μαύρο νερό, οι ποσότητες των λυμάτων που θα διοχετεύονται προς επεξεργασία θα είναι πολύ μικρότερες κι έτσι θα εξοικονομούνται σημαντικές ενεργειακές ποσότητες, με ό,τι όφελος αυτό συνεπάγεται (οικονομία, περιβαλλοντικό αποτύπωμα).

9.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την Ενεργειακή Κατανάλωση Συστημάτων Γκρι Νερού

Το παρόν κομμάτι αποτελεί μέρος της εργασίας των Parkes et al. (2010).

Επαναλαμβάνουμε ότι η προαναφερθείσα περιγραφή αφορά σύστημα μεταφοράς και επεξεργασίας λυμάτων, δηλαδή μαύρου νερού, όχι γκρι νερού. Η ενέργεια όμως που θα απαιτείτο για την επεξεργασία μιας ίδιας ποσότητας μόνο γκρι νερού, που θα απέδιδε την ίδια ποιότητα εκροής, θα ήταν σαφώς μικρότερη. Επίσης, λόγω της μικρότερης ποσότητας του παραγόμενου γκρι νερού επαρκούν μικρότερων διαστάσεων σωλήνες, άρα και το λειτουργικό κόστος αποκατάστασης και συντήρησης θα ήταν μικρότερο. Ωστόσο, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η μελέτη της ανά κάτοικο κατανάλωσης ενέργειας, σε σχέση με το κατά πόσον κεντρικό ή αποκεντρωμένο είναι ένα σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού μιας κοινωνίας, είτε σε μονάδα kWh/κάτοικο είτε σε kWh/(mL ή L ή m³). Τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας νερού καταναλώνουν σε γενικές γραμμές μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν μπορούν να υιοθετηθούν οικονομίες κλίμακας, όπως συμβαίνει με τα κεντρικά συστήματα. Δηλαδή, όσο πιο αποκεντρωμένο είναι ένα σύστημα,

τόσο περισσότερο αυξάνει η ενεργειακή κατανάλωση, είτε ανά κάτοικο, είτε ανά μονάδα όγκου νερού. Παρόλα αυτά, στα κεντρικά συστήματα θα υπάρχει ένα μεγαλύτερο ανά κάτοικο κόστος (γενικό και ενεργειακό) που αφορά την τοποθέτηση και τη συντήρηση των σωλήνων του δικτύου.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι στα συμβατικά συστήματα σημειώνεται μια σημαντική απώλεια θερμότητας (άρα και ενεργειακό αποτύπωμα) λόγω της απορρόφησής της από το κρύο νερό που χρησιμοποιείται για το καζανάκι. Θα άξιζε να διερευνηθεί αν η απώλεια αυτή αυξάνεται ή μειώνεται και κατά πόσον, με την εφαρμογή συστημάτων γκρι και βρόχινου νερού. Από τη μία το γκρι νερό που αποθηκεύεται σε δεξαμενές μπορεί να είναι θερμότερο από το νερό του δικτύου. Από την άλλη επιπρόσθετες εσωτερικές εγκαταστάσεις, σωληνώσεις (ιδιαιτέρως εάν είναι αμόνωτες) και εσωτερικά δοχεία αποθήκευσης ίσως οδηγήσουν σε περαιτέρω απώλειες θερμότητας (*Parkes et al., 2010*).

Ακόμη, το μέγεθος της βροχόπτωσης αποτελεί μία παράμετρο ενεργειακής κατανάλωσης καθώς επηρεάζει τη ζήτηση νερού, που αποτελεί άμεσο παράγοντα ενεργειακής κατανάλωσης. Για παράδειγμα σε ξηρές περιόδους αυξάνεται η ζήτηση νερού για τις αρδευτικές ανάγκες. Επίσης η βροχόπτωση επηρεάζει τη διαστασιολόγηση των δεξαμενών και την ποσότητα εξοικονομούμενου νερού.

Εκτιμάται ότι δεν διαφέρει σημαντικά το ενεργειακό αποτύπωμα μεταξύ των συστημάτων που μετατρέπονται/μετασκευάζονται και αυτών που κατασκευάζονται εκ νέου (π.χ. μικρό ενεργειακό αποτύπωμα εκσκαφών).

Έχει διατυπωθεί (*Parkes et al., 2010*) ότι το αποτύπωμα άνθρακα αυξάνει όσο αυξάνει η ποσότητα του νερού που εξοικονομείται. Αυτό είναι λογικό, αφού το αποτύπωμα άνθρακα για την επεξεργασία και την επαναδιανομή του γκρι νερού είναι μεγαλύτερο από το αποτύπωμα άνθρακα για την παροχή πόσιμου νερού από το δίκτυο. Οπότε, όσο περισσότερο γκρι νερό επαναχρησιμοποιείται τόσο μεγαλύτερο γίνεται και το αποτύπωμα άνθρακα. Ίσως εξαίρεση στη γενική αυτή παραδοχή αποτελούν τα συστήματα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (*short retention systems*), όπου το ενεργειακό αποτύπωμα δύναται (εξαρτάται και από το σχεδιασμό) να είναι πολύ χαμηλό.

9.5 Τιμές Ενεργειακής Κατανάλωσης από Εφαρμογές Συστημάτων Επαναχρησιμοποίησης Γκρι Νερού

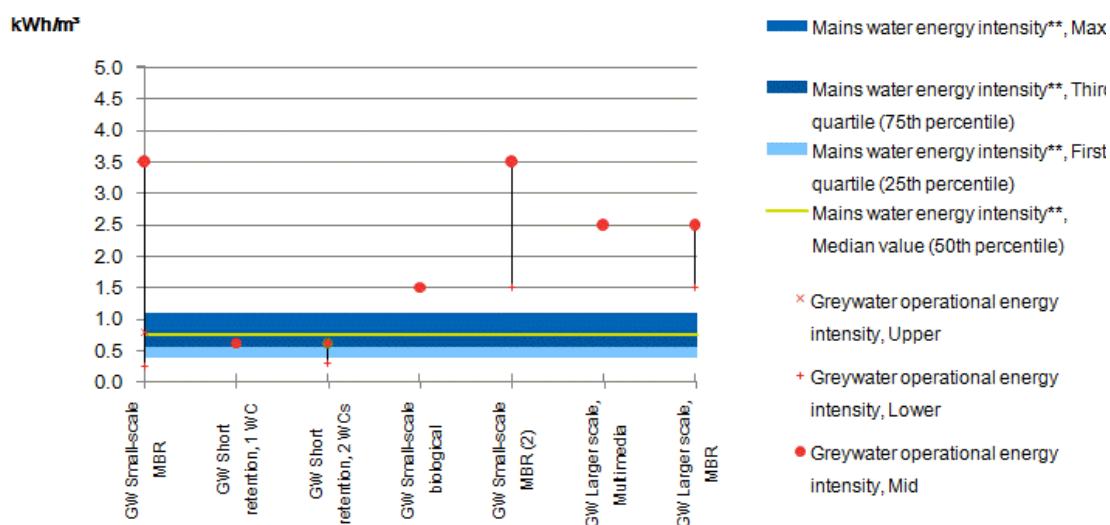
Το παρόν κομμάτι αποτελεί μέρος της εργασίας των *Parkes et al. (2010)*.

Μία πολύ χαμηλή τιμή ενεργειακής κατανάλωσης που έχει αναφερθεί για συστήματα επεξεργασίας μόνο γκρι νερού σε μεγάλης κλίμακας σύστημα είναι $500 \div 750 \text{ kWh/ML}$ ($= 0,5 \div 0,75 \text{ kWh/m}^3$) (*Davies et al., 1998*). Η ενεργειακή κατανάλωση για τη λειτουργία μόνο της αντλίας έχει εκτιμηθεί από τους *Butler and Makropoulos (2006)* $1 \div 3 \text{ kWh/m}^3$. Η απαιτούμενη ενέργεια της αντλίας υπολογίζεται (*Παπαντώνης, 2002*),

$$E = \frac{\gamma \times Q \times H_p}{\eta} \times t$$

όπου, E η απαιτούμενη ενέργεια, γ το ειδικό βάρος του υγρού ($\gamma_{\text{νερού}}=10 \text{ kN/m}^3$), Q η παροχή του νερού (m^3/s), H_p το προσδιδόμενο ύψος πίεσης (m), t ο χρόνος λειτουργίας και n ο βαθμός απόδοσης της αντλίας.

Από στοιχεία που έχουν δοθεί από προμηθευτές, οι ενεργειακές ανάγκες λειτουργίας μερικών τέτοιων συστημάτων παρουσιάζονται στο Σχήμα 9-5 (Parkes et al., 2010). Στη μελέτη αυτή, ως γκρι νερό ορίστηκε το νερό που προέρχεται από το μπάνιο (μπανιέρα, ντους, νιπτήρες) και όχι από νεροχύτες, πλυντήρια ρούχων, μπιντέδες και φυσικά από την τουαλέτα WC. Από το σχήμα αυτό παρατηρούμε ότι τις υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις έχουν τα συστήματα των βιοαντιδραστήρων με μεμβράνη (MBR), που υπολογίζονται $3,5 \text{ kWh/m}^3$ ($1,9 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ αποτύπωμα άνθρακα), αρκετά χαμηλότερες έχουν τα μικρά βιολογικά συστήματα μικρής επεξεργασίας, $1,5 \text{ kWh/m}^3$ ($0,82 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$), ενώ όπως είναι και αναμενόμενο (λόγω των ελάχιστων απαιτήσεων άντλησης) τα συστήματα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (short retention systems) γκρι νερού (ελάχιστης επεξεργασίας) υπολογίζεται ότι καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια, $0,6 \text{ kWh/m}^3$ ($0,34 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$). Ακόμα, φαίνεται από το σχήμα ότι σε μεγαλύτερης κλίμακας εγκαταστάσεις η κατανάλωση ανά m^3 είναι χαμηλότερη για ίδιου τύπου συστήματα, για παράδειγμα MBR μεγάλης κλίμακας, φαίνεται να καταναλώνει $2,5 \text{ kWh/m}^3$, ($1,4 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$). Πρέπει όμως να διευκρινιστεί ότι παίζουν σημαντικό παράγοντα και η ιδιαιτερότητες κάθε συστήματος σε κάθε ξεχωριστή εφαρμογή, όπως η γεωγραφική μορφολογία, ο σχεδιασμός του από το μελετητή κ.τ.λ.



Σχήμα 9-5 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m^3) συστημάτων γκρι νερού κατά τη φάση λειτουργίας (Πηγή: Parkes et al., 2010)

Όσον αφορά την εξοικονομούμενη ενέργεια από τη μείωση των αποχετευόμενων λυμάτων, μία (διάμεσος) τιμή των εκπομπών άνθρακα που έχει αναφερθεί για κάθε αποχετευόμενο ML (10^6 λίτρα) είναι $104,3 \text{ kgCO}_2\text{e/ML}$. Οπότε, - σύμφωνα με την εκτίμηση αυτή - για κάθε ML που δεν διοχετεύεται στο κεντρικό αποχετευτικό σύστημα εξοικονομούνται $104,3 \text{ kgCO}_2\text{e}$ (κίλά εκπομπών διοξειδίου άνθρακα). Εναλλακτικά, υπολογίζεται ότι καταναλώνονται 0.19 kWh/m^3 για την αποχέτευση των λυμάτων (Parkes et al., 2010)⁴.

⁴ Στους παραπάνω υπολογισμούς εκτιμάται ότι $1 \text{ kgCO}_2\text{e}$ αντιστοιχεί σε $1,842 \text{ kWh}$.

9.5.1 Αποτελέσματα Μελέτης για Σπιτικό 90 m² Τριών Ενοίκων

Στην ίδια εργασία (*Parkes et al., 2010*) δημοσιεύονται τα Σχήματα 9-6, 9-7, όπου παρουσιάζεται το τριακονταετές αποτύπωμα άνθρακα για τέσσερις τύπους επεξεργασίας, αναλυόμενο σε τέσσερις τύπους ενεργειακής κατανάλωσης ή εξοικονόμησης, για μία κατοικία 90 m², ημιελεύθερη (που ακουμπά μερικώς με γειτονικές), των τριών ενοίκων. Συγκεκριμένα, οι τέσσερις τύποι επεξεργασίας είναι ο βιοαντιδραστήρας με μεμβράνη (MBR) μικρής κλίμακας, το μικρό βιολογικό σύστημα μικρής επεξεργασίας και τα δύο (εντός του κτιρίου) συστήματα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (short retention systems) γκρι νερού (ελάχιστης επεξεργασίας), το ένα με μία τουαλέτα WC και το άλλο με δύο τουαλέτες WC.

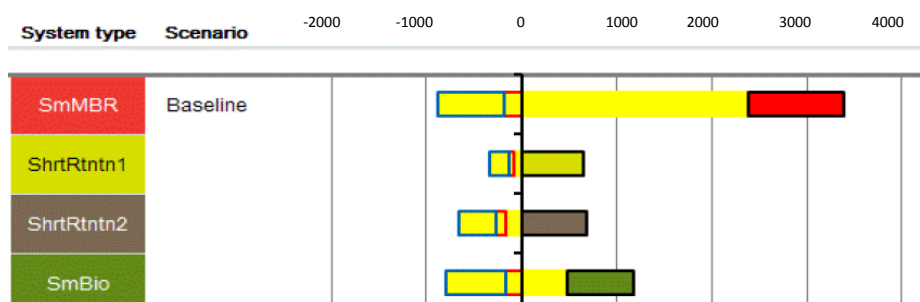
Στη γραφική απεικόνιση (Σχήμα 9-7), το φωτεινό μέρος της μπάρας, στα αριστερά αντιστοιχεί στο γενικό αποτύπωμα άνθρακα από τη λειτουργία του συστήματος, με το αρνητικό μέρος να αντιστοιχεί στις εξοικονομούμενες ποσότητες λόγω της μείωσης της ζήτησης πόσιμου νερού και της μείωσης των αποχετευόμενων λυμάτων. Από το αποτύπωμα λειτουργίας αν αφαιρέσουμε το εξοικονομούμενο αποτύπωμα προκύπτει το καθαρό λειτουργικό αποτύπωμα. Το δεξί κομμάτι με το σκούρο περίγραμμα αντιστοιχεί στην ενσωματωμένη (εμπεριεχόμενη) ενέργεια του συστήματος (υλικά, κατασκευή...), εκτός της ενσωματωμένης ενέργειας της δεξαμενής.

Το καθαρό λειτουργικό αποτύπωμα για το σύστημα του βιοαντιδραστήρα με μεμβράνη (MBR) είναι 2389 kgCO₂e, για το μικρό βιολογικό σύστημα μικρής επεξεργασίας είναι 474 kgCO₂e, για το σύστημα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (short retention systems) γκρι νερού (ελάχιστης επεξεργασίας) με μία τουαλέτα WC είναι -85 kgCO₂e (δηλαδή εξοικονόμηση συγκριτικά με το παραδοσιακό σύστημα) και για το σύστημα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (short retention systems) γκρι νερού (ελάχιστης επεξεργασίας) με δύο τουαλέτες WC είναι -170 kgCO₂e (δηλαδή ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση).

90m² e.g. Semi-detached house with 3 occupants

	Year 30 mains offset carbon saving, Medium CI	Year 30 foul water reduction carbon saving	Year 30 operational carbon	Year 30 Net operational carbon	Year 30 representative tank embodied CO ₂	Year 30 System (excl. RW tank) Embodied CO ₂
	kgCO ₂ e					
SmMBR	-699	-178	3,265	2,389	0	993
ShrtRtntn1	-196	-50	161	-85	0	660
ShrtRtntn2	-392	-100	322	-170	0	692
SmBio	-633	-161	1,268	474	0	713

Σχήμα 9-6 Τιμές τριακονταετούς αποτυπώματος άνθρακα (kgCO₂e) για 4 τύπους συστήματος, σε σπιτικό 90 m² τριών ενοίκων. Αποτύπωμα εξοικονόμησης πόσιμου νερού, αποχετευόμενου νερού, συνολικό αποτύπωμα λειτουργίας, καθαρό αποτύπωμα λειτουργίας, ενσωματωμένο αποτύπωμα (Πηγή: *Parkes et al., 2010*).



Σχήμα 9-7 Γραφική απεικόνιση τριακονταετούς αποτυπώματος άνθρακα (kgCO₂e) για 4 τύπους συστήματος, σε σπιτικό 90 m² τριών ενοίκων. Αποτύπωμα εξοικονόμησης πόσιμου νερού, αποχετευόμενου νερού, συνολικό αποτύπωμα λειτουργίας, καθαρό αποτύπωμα λειτουργίας, ενσωματωμένο αποτύπωμα (Πηγή: *Parkes et al., 2010*).

9.5.2 Αποτελέσματα Μελέτης για Ξενοδοχείο Ογδόντα (80) Δωματίων, Τριών Ορόφων και 160 Ενοίκων

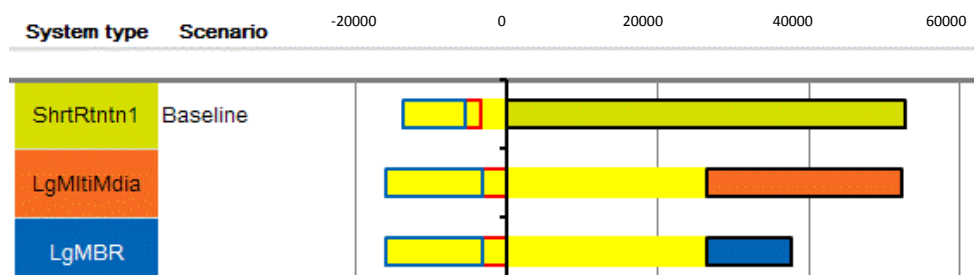
Αντιστοίχως, από τη μελέτη που διεξήχθη για ξενοδοχείο ογδόντα (80) δωματίων, τριών ορόφων και 160 ενοίκων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των Σχημάτων 9-8, 9-9. Οι τύποι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν είναι το σύστημα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (short retention systems) γκρι νερού (ελάχιστης επεξεργασίας) με μία τουαλέτα WC, το σύστημα συνδυασμού φίλτρων μεγάλης κλίμακας (Long Multimedia) και το σύστημα βιοαντιδραστήρα με μεμβράνη μεγάλης κλίμακας (LgMBR).

Το καθαρό λειτουργικό αποτύπωμα για το σύστημα μικρής διάρκειας αποθήκευσης (short retention systems) γκρι νερού (ελάχιστης επεξεργασίας) με μία τουαλέτα WC είναι -3547 kgCO₂e, για το σύστημα συνδυασμού φίλτρων μεγάλης κλίμακας (Long Multimedia) είναι 26585 kgCO₂e και για το σύστημα βιοαντιδραστήρα με μεμβράνη μεγάλης κλίμακας (LgMBR) υπολογίζονται επίσης 26585 kgCO₂e.

80-room Budget Hotel

	Year 30 mains offset carbon saving, Medium CI	Year 30 foul water reduction carbon saving	Year 30 operational carbon	Year 30 Net operational carbon	Year 30 representative tank embodied CO ₂	Year 30 System (excl. RW tank) Embodied CO ₂
ShrtRtntn1	-8,197	-2,088	6,738	-3,547	0	52,773
LgMltiMdia	-12,756	-3,249	42,590	26,585	0	25,693
LgMBR	-12,756	-3,249	42,590	26,585	0	11,103

Σχήμα 9-8 Τιμές τριακονταετούς αποτυπώματος άνθρακα (kgCO₂e) για 4 τύπους συστήματος σε ξενοδοχείο 80 δωματίων. Αποτύπωμα εξοικονόμησης πόσιμου νερού, αποχετευόμενου νερού, συνολικό αποτύπωμα λειτουργίας, καθαρό αποτύπωμα λειτουργίας, ενσωματωμένο αποτύπωμα (Πηγή: *Parkes et al., 2010*).



Σχήμα 9-9 Γραφική απεικόνιση τριακονταετούς αποτυπώματος άνθρακα (kgCO₂e) για 4 τύπους συστήματος, σε ξενοδοχείο 80 δωματίων. Αποτύπωμα εξοικονόμησης πόσιμου νερού, αποχετευόμενου νερού, συνολικό αποτύπωμα λειτουργίας, καθαρό αποτύπωμα λειτουργίας, ενσωματωμένο αποτύπωμα (Πηγή: *Parkes et al., 2010*)

Σε 30 χρόνια υπολογίζεται ότι εξοικονομούνται για το ξενοδοχείο 13 ML (megalitres) νερού. Σε γενικές γραμμές, για διάφορους τύπους κτιρίων και συστημάτων επεξεργασίας, το μέγεθος των εκπομπών αερίων άνθρακα (σε τόνους) για κάθε ML (megalitre) εξοικονομούμενου νερού κυμαίνεται σε εύρος 0,5 ÷ 4 tCO₂e/ML (0.921 ÷ 7.37 kWh/m³), ενώ για συνήθεις εφαρμογές το εύρος κυμαίνεται 1 ÷ 2 tCO₂e/ML (περίπου 1,84 ÷ 3,7 kWh/m³).

9.6 Ανακεφαλαίωση

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης της ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται από τα συστήματα αποχέτευσης, επεξεργασίας και επαναδιάθεσης του νερού.

Διακρίνουμε την έννοια της άμεσης κατανάλωσης ενέργειας, η οποία σχετίζεται κυρίως με τη φάση λειτουργίας του συστήματος, από την έμμεση κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι η ενέργεια που εσωκλείεται από τη φάση κατασκευής διάφορων υλικών που χρησιμοποιούνται. Εντοπίζουμε επίσης κάποιες διεργασίες - από τη φάση λειτουργίας και συντήρησης - που απαιτούν ενέργεια, κατηγοριοποιώντας τις στα βασικά υποσυστήματα (αντλιοστάσιο, αγωγοί μεταφοράς, εγκαταστάσεις επεξεργασίας) των υδατικών συστημάτων (ύδρευσης, αποχέτευσης).

Οι κύριοι ενεργειακοί δείκτες που χρησιμοποιούνται έχουν ως βάση τη μονάδα όγκου του νερού που επεξεργάζεται (π.χ. kWh/m³), είτε τον πληθυσμό (π.χ. kWh/κάτοικο). Ένας τέτοιος δείκτης είναι το αποτύπωμα άνθρακα (kgCO₂e). Το σύνολο των καθαρών εκπομπών άνθρακα υπολογίζεται αφαιρώντας, από το άθροισμα των ενσωματωμένων και λειτουργικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), τις εξοικονομούμενες εκπομπές λόγω μειωμένης παροχής νερού από το δίκτυο και της μειωμένης αποχετευόμενης παροχής λυμάτων.

Στη συνέχεια παραθέτουμε μία μελέτη πάνω σε ένα συμβατικό σύστημα ύδρευσης και αποχέτευσης, όπου διαπιστώνεται ότι το μερίδιο του συστήματος επεξεργασίας στην συνολική κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο της μεταφοράς και της άντλησης των λυμάτων. Ενδεικτικά, για την επεξεργασία των λυμάτων καταναλώνονται 157,1 kWh, ενώ για όλο το υπόλοιπο σύστημα ύδρευσης και αποχέτευσης καταναλώνονται 240,7 kWh (ποσοστό 65.3%). Οπότε, με το διαχωρισμό του γκρι από το μαύρο νερό δύναται

να εξοικονομηθεί μία υπολογίσιμη ποσότητα ενέργειας. Εκτιμάται ότι για την αποχέτευση και την επεξεργασία λυμάτων καταναλώνονται $0,8 \text{ kWh/m}^3$.

Ακολούθως, αναφέρονται κάποιοι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων γκρι νερού (π.χ. κεντρικά/αποκεντρωμένα συστήματα) και παρατίθενται κάποιες τιμές της ενεργειακής ζήτησης. Οι ενεργειακές απαιτήσεις από τη λειτουργία ενός τυπικού αντλιοστασίου υπολογίζονται $1 \div 3 \text{ kWh/m}^3$. Γενικότερα, για συνήθεις εφαρμογές, το εύρος της απαιτούμενης ενέργειας για κάθε m^3 κυμαίνεται περίπου $1,84 \div 3,7 \text{ kWh/m}^3$.

10

Οικονομικό Κόστος και Οφέλη

(Το μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού αντλείται από τη δημοσίευση των *Friedler and Hadari, 2006.*)

Για να επιτευχθεί η εξοικονόμηση του νερού, μέσω της εγκατάστασης συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού υπάρχει ένα κόστος, το οποίο ποικίλει εξαρτώμενο από πολλούς παράγοντες και θα πρέπει να μελετάται πάντοτε και να αξιολογείται σε σχέση με τα οφέλη. Τα οφέλη μπορούν να θεωρηθούν και ως «αρνητικό κόστος». Σε ό,τι αφορά το κόστος συνηθίζονται να γίνονται κάποιοι διαχωρισμοί. Τέτοιοι είναι:

- Το ατομικό κόστος των χρηστών-καταναλωτών και το συλλογικό κόστος (π.χ. του δημοσίου, της εταιρίας διαχείρισης, της τοπικής πολιτικής αρχής)
- Το άμεσα αντιληπτό χρηματικό κόστος και το έμμεσο (εξωτερικό) κόστος (π.χ. αισθητική υποβάθμιση).

10.1 Άμεσα Αντιληπτό Χρηματικό Κόστος

Το άμεσα αντιληπτό χρηματικό κόστος για κάθε χρήση (ατομικά) ενός αποκεντρωμένου συστήματος επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού, διαμορφώνεται από το κόστος της κατασκευής, της λειτουργίας και της συντήρησης του εξοπλισμού και των υποδομών, για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη μεταφορά του επεξεργασμένου-«πράσινου» νερού και σχετίζεται άμεσα και με τις χρηματικές αξίες όπως διαμορφώνονται από την αγορά. Από την άλλη μεριά, το χρηματικό ατομικό όφελος για τον καταναλωτή, προκύπτει με την προϋπόθεση ότι θα εξακολουθεί να καταναλώνει τις ίδιες περίπου ποσότητες νερού με πριν, οπότε η ζήτηση πόσιμου νερού από το δίκτυο θα μειωθεί, άρα θα μειωθεί και το ύψος των λογαριασμών ζήτησης νερού και αποχέτευσης νερού, προς την εταιρία διαχείρισης. Αυτό συμβαίνει διότι συνήθως το ποσό πληρωμής είναι ανάλογο με το μέγεθος της κατανάλωσης, που με τα συμβατικά συστήματα συμπίπτει με το μέγεθος της ζήτησης νερού από το κεντρικό δίκτυο παροχής.

Σε συλλογικό επίπεδο, το Δημόσιο, είτε η Πολιτική Αρχή κ.τ.λ. δεν χρεώνεται άμεσα και απαραίτητως κάποιο κόστος για την εγκατάσταση των αποκεντρωμένων συστημάτων επαναχρησιμοποίησης, καθότι είναι μάλλον προτιμότερο τα συστήματα αυτά να περνούν υπό το διαχειριστικό έλεγχο των ίδιων των χρηστών-καταναλωτών. Απλώς το κράτος θα πρέπει να έχει κάποιον εποπτικό-ελεγκτικό ρόλο. Αντιθέτως, επωφελείται από την υιοθέτηση της πρακτικής αυτής, αφού η μείωση της ζήτησης νερού από το δίκτυο, από την πλευρά των καταναλωτών, συνεπάγεται λιγότερες απαιτήσεις των κεντρικών εγκαταστάσεων ύδρευσης και αποχέτευσης. Έτσι, οι νέες εγκαταστάσεις θα είναι μικρότερες, άρα και οικονομικότερες στην κατασκευή τους και οι παλαιότερες θα έχουν μεγαλύτερο περιθώριο λειτουργίας στο εξής, χωρίς να απαιτούνται επιπρόσθετα έργα

επέκτασης, μεγέθυνσης. Για τον ίδιο λόγο, δηλαδή λόγω των μικρότερων ποσοτήτων ζήτησης, μικρότερα θα είναι και τα λειτουργικά κόστη (αντλήσεων, επεξεργασίας, μεταφοράς) τα οποία κόστη επωμίζονται άμεσα οι συλλογικοί φορείς (π.χ. δημόσιες υπηρεσίες) και έπειτα μετακυλίνουν στους πολίτες και στους καταναλωτές. Στο συλλογικό τομέα θα μειωθούν βεβαίως και τα έσοδα, όμως η τιμή αγοράς από τους καταναλωτές δεν αντικατοπτρίζει πάντοτε την πραγματική αξία και το πραγματικό κόστος του νερού, αφού αυτό θεωρείται κοινωνικό αγαθό κι έτσι παραμένει συνήθως σε χαμηλά επίπεδα. Με άλλα λόγια, ένας δημόσιος οργανισμός δεν λειτουργεί με σκοπό το κέρδος αλλά με γνώμονα το κοινό καλό, οπότε, αν ο συλλογικός τομέας λειτουργεί για το δημόσιο συμφέρον, τότε και οι πολίτες είναι επωφελημένοι από την εξοικονόμηση αυτή. Συνοψίζοντας λοιπόν, η εξοικονόμηση νερού μειώνει το κόστος των κεντρικών δικτύων και εγκαταστάσεων, χωρίς να επιβαρύνεται ο συλλογικός τομέας, εκτός και αν αποφασίσει να προωθήσει την πρακτική της επαναχρησιμοποίηση μέσω κάποιων μορφών επιδότησης.

Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι οι μειωμένες παροχές λυμάτων στους αγωγούς κεντρικής αποχέτευσης, σε συνδυασμό και με την αυξημένη συγκέντρωση κοπρανώδους υλικού, ενδέχεται να οδηγήσουν σε προβλήματα κατακάθισης του υλικού και έμφραξης των αγωγών αυτών. Όμως, τα συστήματα αποχέτευσης στις περισσότερες πόλεις λειτουργούν κοντά στα μέγιστα όρια σχεδιασμού τους (μπορεί και να τα υπερβαίνουν), οπότε δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα από τη μεταβολή αυτή.

Στο Σχήμα 10-1 παρουσιάζονται εν συντομία τα κυριότερα ατομικά και συλλογικά οφέλη και κόστη, που σχετίζονται περισσότερο με τις άμεσα αντιληπτές χρηματοοικονομικές επιπτώσεις.

Benefits	Costs
<p>Individual consumer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Money saving Water bill Sewage bill <p>General public:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Water resources Development of new resources can be postponed • Water abstraction Less energy • Water treatment Less energy Fewer chemicals Existing plants: enlargement can be postponed Future plants: smaller • Water conveyance and distribution Less energy Existing systems: enlargement can be postponed New systems: smaller • Wastewater collection Less energy (force mains) Existing systems: enlargement can be postponed New systems: smaller • Wastewater treatment plants (WWTP) Lower pollutants loads (degradable pollutants) Less energy? Fewer chemicals Existing WWTP: enlargement can be postponed? New WWTP: smaller? 	<ul style="list-style-type: none"> • Network separation Collection: grey, black Supply: potable, treated greywater • Greywater treatment system Capital costs Operation and maintenance costs Monitoring costs • Treated greywater conveyance Energy <ul style="list-style-type: none"> • Wastewater collection Lower flows, more blockages? <ul style="list-style-type: none"> • Wastewater treatment plants Higher pollutants concentration (less dilution)

Σχήμα 10-1 Ατομικό και συλλογικό κόστος και οφέλη της αποκεντρωμένης επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού
(Πηγή: *Friedler and Hadari, 2006*)

10.2 Εξωτερικά Κόστη/Οφέλη (Externalities)

Γνωρίζουμε πάντως ότι υπάρχουν κάποια κόστη και οφέλη, τα οποία είναι δυσπροσδιόριστα και δεν μπορούν εύκολα να τεθούν σε μια κοινή βάση με το πιο άμεσα αντιληπτό χρηματικό κόστος της κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των υποδομών και με το άμεσο χρηματικό όφελος από την εξοικονόμηση νερού. Τέτοια είναι τα κοινωνικά και τα περιβαλλοντικά, ακόμα και τα δευτερεύοντα χρηματικά κόστη/οφέλη, τα οποία συχνά υποτιμώνται και δεν λαμβάνονται υπόψιν, με ενδεχόμενη συνέπεια τη λήψη λανθασμένων αποφάσεων. Στην επιστήμη των οικονομικών αυτά ονομάζονται διεθνώς «externalities». Εμείς θα τα αποκαλούμε εξωτερικά κόστη/οφέλη (*Mankad and Tapsuwan, 2011*).

Εξωτερικά κόστη, σε σχέση με τη διαχείριση του νερού, μπορεί να είναι αρνητικές αλλαγές στον τρόπο ζωής των ανθρώπων, στους χώρους πρασίνου, η υποβάθμιση της περιουσίας, οι περισσότερες εκπομπές CO₂ και η μειωμένη οικονομία κλίμακας που μπορεί να προκύπτει από τα αποκεντρωμένα συστήματα.

Εξωτερικά οφέλη μπορεί να είναι η μείωση της απόρριψης ρυπαντικών συγκεντρώσεων διαφόρων στοιχείων στο περιβάλλον (περιβαλλοντική αναβάθμιση), η μείωση της ζήτησης σε πόσιμο νερό, με αποτέλεσμα να προστατεύεται και να αξιοποιείται καλύτερα το υδάτινο περιβάλλον. Επίσης, ο πρόσθετος υδατικός πόρος μπορεί να αξιοποιηθεί σε επιπρόσθετες

δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η καλλιέργεια οπωροκηπευτικών, είτε η φροντίδα χώρων πρασίνου και αναψυχής. Ακόμα και η ψυχική ικανοποίηση που λαμβάνει κάποιος συναισθανόμενος την υποχρέωση να συμβάλλει προς ένα πιο βιώσιμο σύστημα μπορεί να προστεθεί στα οφέλη. Η μείωση (ή τουλάχιστον η μη αύξηση) των απαιτήσεων λειτουργίας για τις νέες και τις παλαιότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας (πόσιμου νερού, λυμάτων) και των δικτύων διανομής του νερού, από την εφαρμογή αποκεντρωμένων συστημάτων επαναχρησιμοποίησης, μπορεί να συγκαταλεγεί και σε αυτήν την κατηγορία, παρόλο που μια αναλυτική χρηματοοικονομική μελέτη θα πρέπει μάλλον να συμπεριλάβει και τα χρηματικά οφέλη που συνεπάγονται από την εξέλιξη αυτή.

Ένα ζητούμενο θα ήταν λοιπόν το συνολικό εξωτερικό κόστος/όφελος να μπορεί να αναγνωριστεί, να εκτιμηθεί ποσοτικά και να προστεθεί/αφαιρεθεί στο/από το κόστος της μιας μονάδας εξοικονομούμενου νερού ώστε τελικώς αυτό να συγκριθεί με την παρούσα τιμή πώλησης του νερού ή να συγκριθεί με το κόστος νερού άλλων πιθανών σεναρίων. Είναι πολύ πιθανό το άμεσο κόστος⁵ μιας μονάδας εξοικονομούμενου νερού να είναι μεγαλύτερο από εκείνο ενός άλλου σεναρίου (π.χ. του μηδενικού σεναρίου). Έτσι θα υπήρχε σαφέστερη εικόνα, ώστε οι καταναλωτές και γενικότερα κάθε ενδιαφερόμενος να μπορούν να επιλέξουν με ακριβέστερη ενημέρωση μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων – προτάσεων. Θα πρέπει λοιπόν η προσπάθεια εκτίμησης του κόστους να συμπεριλαμβάνει και τα ευρύτερα οφέλη (κοινωνικά, περιβαλλοντικά) που προκύπτουν. Πρόκειται όμως για ένα δύσκολο και όχι σαφώς καθορισμένο έργο.

10.2.1 Κίνητρα από την Πολιτεία

Επειδή λοιπόν τα ευρύτερα οφέλη από την εφαρμογή αποκεντρωμένων συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού ενδέχεται να είναι σημαντικότερα από τα οφέλη των ιδιωτών-καταναλωτών, ίσως υπάρξει από την πολιτεία η θέληση να δώσει κάποια κίνητρα στους πολίτες προς αυτήν την κατεύθυνση. Τέτοια κίνητρα μπορεί να είναι (*Friedler and Hadari, 2006*):

- Επιδότηση κάθε m^3 γκρι νερού που επαναχρησιμοποιείται.
- Ίδρυση ταμείου με σκοπό τον ευνοϊκότερο δανεισμό.
- Μείωση της φορολογίας της περιουσίας-ακινήτου.

10.3 Ανάλυση της Εκτίμησης Κόστους

Οι *Friedler and Hadari (2006)* μελετούν το κόστος συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού σε πολυκατοικίες, με σκοπό να εκτιμηθούν - για συγκεκριμένες τεχνολογικές επιλογές και παραδοχές - τα όρια, πέρα από τα οποία το σύστημα γίνεται οικονομικά αποδοτικό. Στα συστήματα αυτά το γκρι νερό, μετά την επεξεργασία του, προορίζεται για επαναχρησιμοποίηση στο καζανάκι της τουαλέτας. Οι παραδοχές της συγκεκριμένης ανάλυσης περιλαμβάνουν 3,4 μέλη ανά οικογένεια, μία (1) οικογένεια ανά διαμέρισμα, τέσσερα (4) διαμερίσματα ανά όροφο και ύψος ορόφου τα τρία (3) μέτρα. Όπως αναφέρεται, στον πυκνοκατοικημένο αστικό χώρο εντοπίζονται συνήθως εντονότερα προβλήματα έλλειψης νερού, οπότε η ανάγκη εξοικονόμησης νερού είναι πιο σημαντική. Η ανάλυση εστιάζεται στα άμεσα κόστη και οφέλη του ατόμου-καταναλωτή και όχι σε

⁵ Το κόστος μπορεί να είναι και αρνητικό, δηλαδή να υπάρχει όφελος, κέρδος.

εξωτερικά οφέλη που αφορούν την ιδιότητά του ως πολίτη. Γίνεται η παραδοχή ατομικής κατανάλωσης νερού 161 L/ημέρα, από το οποίο 55 L/ημέρα χρησιμοποιούνται στο καζανάκι. Τα συστήματα επεξεργασίας που επιλέγονται για την ανάλυση είναι δύο (2): ένα σύστημα βιολογικού αντιδραστήρα με μεμβράνη MBR και ένα σύστημα περιστρεφόμενων βιολογικών επαφών RBC, το οποίο θεωρείται καταλληλότερο για μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

10.3.1 Κόστος Κεφαλαίου

Το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει το κόστος αγοράς του εξοπλισμού του συστήματος και το εργατικό κόστος της εγκατάστασής του (*Friedler and Hadari, 2006*). Το απαραίτητο μήκος αγωγών υπολογίστηκε στο παράδειγμα αυτό ότι είναι 5m για κάθε διαμέρισμα (συλλογή και διανομή) και 9m για κάθε όροφο (συλλογή, μεταφορά προς τη στέγη και διανομή στα διαμερίσματα). Η συνάρτηση κόστους που βρέθηκε, όσον αφορά το κόστος των αγωγών σε συνάρτηση με το μήκος τους είναι $K = 6 \times L$ (US)\$/m (Αμερικάνικα δολάρια ανά μέτρο), όπου K: το κόστος των αγωγών (\$), L: το μήκος των αγωγών (m). Κατ' αυτόν τον τρόπο, 1m αγωγού κοστίζει 6 (US)\$.

Ένα σύνθετος μέγεθος δεξαμενών, για εφαρμογή γκρι νερού στο καζανάκι, για μεγάλες πολυκατοικίες, είναι το 1m³, παρόλο που έχουν αναφερθεί και πολύ μικρότεροι όγκοι ως επαρκείς. Στο παράδειγμά μας χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) δεξαμενές του 1m³ (μία άνω και μία κάτω). Το κόστος των δεξαμενών σε συνάρτηση με τη χωρητικότητά τους (όγκος) υπολογίζεται $K = 144 \times V^{0,484}$ (US)\$, όπου V: η χωρητικότητα της δεξαμενής (m³). Έτσι, μια δεξαμενή 1 m³ υπολογίζεται ότι κοστίζει 144 (US)\$.

Το κόστος κεφαλαίου των μονάδων επεξεργασίας MBR και RBC υπολογίζεται σε συνάρτηση με την παροχή που σχεδιάζεται να εισέρχεται προς επεξεργασία. Για το σύστημα MBR είναι $K = 18,853 + 17,945 \times \ln(Q)$ (US)\$, όπου Q : η παροχή γκρι νερού προς επεξεργασία (m³/d). Η αντίστοιχη συνάρτηση κόστους για το σύστημα RBC είναι $K = 3,590 \times Q^{0,6776}$ (US)\$.

Το κόστος της αντλίας επίσης υπολογίζεται ως συνάρτηση της παροχής του γκρι νερού που εισέρχεται προς επεξεργασία. Η συνάρτηση κόστους είναι $K = 594 \times Q^{0,0286}$ (US)\$, Q: (m³/d).

Το κόστος μιας μικρής μονάδας χλωρίωσης, η οποία θεωρείται καταλληλότερη για αποκεντρωμένα συστήματα γκρι νερού, είναι σχετικά μεγάλο και δεν εξαρτάται από την παροχή της ροής που επεξεργάζεται. Μία ενδεικτική τιμή αγοράς είναι τα 1670 (US)\$/μονάδα. Πρόσθετα βοηθητικά υλικά όπως σωλήνες, μικρές συσκευές, βάνες και άλλα εξαρτήματα που απαιτούνται κυρίως στη μονάδα επεξεργασίας, εκτιμώνται να κοστίζουν περίπου το 15% του συνολικού κόστους.

10.3.2 Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης (O&M Costs)

Το κόστος λειτουργίας (Operation) και συντήρησης (Maintenance) μπορεί να αναλυθεί στα εξής επιμέρους κόστη: Το κόστος της ενέργειας που δαπανάται για την επεξεργασία του γκρι νερού και τη μεταφορά του (κυρίως κατά την άντλησή του), το κόστος του εργατικού δυναμικού που είναι απαραίτητο για τον έλεγχο και τη συντήρηση του συστήματος, το κόστος της απολυμαντικής ουσίας που χρησιμοποιείται (χλώριο), το κόστος της προληπτικής επεξεργασίας των μεμβρανών του συστήματος επεξεργασίας MBR και το κόστος των ανταλλακτικών και των επισκευών (*Friedler and Hadari, 2006*).

- Εργατικό κόστος. Από την εμπειρία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων εκτιμάται ότι για τη συντήρηση απαιτείται 1 ώρα ανά εβδομάδα με κόστος 20 (US)\$/h (δολάρια ανά ώρα).
- Κόστος απολυμαντικού. Το ετήσιο λειτουργικό κόστος K (\$/έτος) που προκύπτει από τη χρήση του απολυμαντικού, υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο (σε παρένθεση ενδεικτικές μονάδες μέτρησης) (Friedler and Hadari, 2006):

$$K \left(\frac{\$}{\text{έτος}} \right) = \text{Δόση Χλωρίου} \left(\frac{\text{kg χλωρίου}}{\text{L νερού ή επεξεργασίας}} \right) \times Q \left(\frac{\text{L νερού ή επεξεργασίας}}{\text{ώρα}} \right) \times 8760 \left(\frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}} \right) \times \frac{1}{X} \left(\frac{\text{kg χλωρίνης}}{\text{kg χλωρίου}} \right) \times \frac{1}{\rho} \left(\frac{\text{L χλωρίνης}}{\text{kg χλωρίνης}} \right) \times \text{Κόστος Μονάδας} \left(\frac{\$}{\text{L χλωρίνης}} \right)$$

Η απαιτούμενη δόση χλωρίου (kg/L), για την επιθυμητή απολύμανση της ποσότητας γκρι νερού που επεξεργάζεται με τα συστήματα RBC και MBR, συνήθως, δεν υπερβαίνει τα 3 mg/L (ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση 1 mg/L παραμένοντος χλωρίου έπειτα από την παρέλευση μίας ώρας). Το μέγεθος $Q \times 8760$ (όπου Q η παροχή σε L/ώρα) εκφράζει την ποσότητα του νερού που επεξεργάζεται ανά έτος. Με « X » συμβολίζεται η αναλογία της ποσότητας χλωρίου σε μια ποσότητα διαλύματος χλωρίνης (kg χλωρίου/kg χλωρίνης) και στη συγκεκριμένη δημοσίευση αναφέρεται ότι η αναλογία αυτή είναι 11%, δηλαδή $X=0,11$. Η πυκνότητα του διαλύματος της χλωρίνης θεωρείται ότι είναι $\rho=1\text{kg/L}$. Ως κόστος της μονάδας του διαλύματος χλωρίνης βρίσκουμε μία τιμή περίπου 0,26 (US)\$/L. Οπότε, αν αντικαταστήσουμε τις συγκεκριμένες τιμές στον παραπάνω τύπο λαμβάνουμε $K = 62,11 Q$ (\$/έτος).

- Κόστος προληπτικής επεξεργασίας των μεμβρανών. Για τη συντήρηση των μεμβρανών απαιτείται μία προληπτική περιοδική επεξεργασία με τη χρήση χημικών ουσιών. Ένα κόστος που έχει αναφερθεί για τις ουσίες αυτές είναι 0,02 (US)\$/(m³/έτος) ÷ 0,03 (US)\$/(m³/έτος).
- Λειτουργικό ενεργειακό κόστος. Στο σύστημα γκρι νερού, κατά τη φάση λειτουργίας, καταναλώνεται ενέργεια για την επεξεργασία και για τη μεταφορά της επεξεργασμένης ροής προς τα πάνω, δηλαδή εν προκειμένω στη δεξαμενή αποθήκευσης που βρίσκεται στη στέγη. Το κόστος μίας kWh στο Ισραήλ ανέρχεται περίπου στα 0,11 (US)\$/kWh, ενώ στην Ελλάδα μια ενδεικτική τιμή είναι 0,072 €/kWh⁶.

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την επεξεργασία του γκρι νερού με ένα σύστημα MBR, έχει αναφερθεί $1 \div 1,5 \text{ kWh/m}^3$ (επεξεργασμένου νερού). (Σε πολύ μεγάλα συστήματα MBR, της τάξεως των $650 \div 10000 \text{ m}^3/\text{d}$, έχουν αναφερθεί, όπως είναι λογικό, μικρότερα κόστη, $0,5 \div 0,75 \text{ kWh/m}^3$ (επεξεργασμένου νερού)).

Για ένα σύστημα RBC έχει αναφερθεί μία συνάρτηση της απαιτούμενης ισχύος $P(W)$, με ανεξάρτητη μεταβλητή την παροχή Q (m³/d) (Friedler and Hadari, 2006):

$$P = 42,2 \times e^{(0,1046 \times Q)}$$

Η ενέργεια που καταναλώνεται, για τη μεταφορά του επεξεργασμένου γκρι νερού στη στέγη ενός κτιρίου, οφείλεται στη λειτουργία του αντλιοστασίου, που

⁶ Η μοναδιαία χρέωση βρίσκεται σε παρόμοιο επίπεδο στις δύο χώρες, με την ισοτιμία 1€ = 1,43 \$

χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. Το αντλιοστάσιο καλείται να προσδώσει στο γκρι νερό ένα ύψος πίεσης:

$$H_p = \Delta Z + \Delta H_f$$

όπου ΔZ (m) είναι η υψομετρική διαφορά πίεσης των σημείων εισροής (κάτω μέρος) και εκροής (άνω μέρος) του νερού. Προσεγγιστικά, $\Delta Z = 3 \times n + 3$ (m), όπου n: αριθμός ορόφων. ΔH_f (m) είναι το ύψος πίεσης των απωλειών εντός των αγωγών. Οι απώλειες ύψους πίεσης μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια της εξίσωσης Hazen-Williams (*Friedler and Hadari, 2006*):

$$\Delta H_f = 1,131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C_{H-W}} \right)^{1,852} \times D^{-4,87} \times L$$

όπου Q είναι η παροχή ($m^3/\acute{\omega}ρα(h)$) της εισροής στην οποία προσδίδεται το ύψος πίεσης, C_{H-W} είναι ο συντελεστής τραχύτητας Hazen-Williams των αγωγών (υπολογίζεται ότι $C_{H-W} \approx 130$), D (mm) είναι η διάμετρος των αγωγών (εκτιμάται $D \approx 25,4$ mm) και L (m) είναι το μήκος των αγωγών. Στην περίπτωση που η σύνδεση γίνεται μεταξύ δύο δεξαμενών (άνω και κάτω) όπως στο παράδειγμά μας, τότε θα έχουμε έναν επιπρόσθετο αγωγό. Σε περίπτωση που υπάρχει μόνο μία δεξαμενή (κάτω), τότε θα χρειαστεί η χρήση κάποιου πιεστικού μηχανήματος (π.χ. «πιεστικού κώδωνα») και θα προσδίδεται ύψος πίεσης μεγαλύτερο από $\Delta Z + \Delta H_f$, ώστε η πίεση να είναι επαρκής και στην υδρευτική παροχή του υψηλότερου ορόφου. Επιπλέον, προστίθεται ένα 15%, ώστε να συνυπολογιστεί και το τοπικό ύψος απωλειών (h_t).

Έχοντας λοιπόν υπολογίσει το απαιτούμενο συνολικό ύψος πίεσης H_p (m) που πρέπει να προσδώσει η αντλία, μπορεί στη συνέχεια να εκτιμηθεί η απαιτούμενη-θεωρητική ισχύς N_i (W), δηλαδή η ανά μονάδα χρόνου ενέργεια που απαιτείται να παραλάβει το υγρό για να αποκτήσει το ζητούμενο ύψος πίεσης H_p . Ο τύπος για τη θεωρητική ισχύ είναι $N_i = \gamma \times Q \times H_p$ (W). Όμως εξαιτίας διάφορων απωλειών στο εσωτερικό της αντλίας, η πραγματική ισχύς N που απορροφάται από τον κινητήρα της αντλίας για τη διακίνηση της παροχής Q (s) και την πρόσδοση ύψους πίεσης H_p είναι μεγαλύτερη από τη θεωρητική. Ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι $\eta = N_i/N$ (*Παπαντώνης, 2002*). Οπότε, αν γνωρίζουμε το βαθμό απόδοσης μίας αντλίας ($\eta \approx 0,75$, 75%), τότε η πραγματική ισχύς N ($kg\ m^2/s^3$) υπολογίζεται με τον τύπο:

$$N = \frac{\gamma \times Q \times H_p}{\eta}$$

όπου $\gamma = \rho \times g$, είναι το ειδικό βάρος του υγρού (Για το νερό $\gamma \approx 10000\ kg/(m^2 \cdot sec^2)$) Με δεδομένο έπειτα κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας t , μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ενέργεια της αντλίας, $E = N \times t$ ($kg\ m^2/s^2$).

- Κόστος ανταλλακτικών και επισκευών. Το κόστος αυτό εκτιμάται περίπου ως το 2% επί του συνολικού κόστους της επένδυσης, ανά έτος.

10.3.3 Διάρκεια ζωής

Μία πληροφορία που είναι απαραίτητη για τη σωστή οικονομική ανάλυση του συστήματος σε βάθος χρόνου, αλλά και τη σωστή συντήρησή του, είναι η διάρκεια ζωής των επιμέρους

στοιχείων του εξοπλισμού (δεξαμενές, αντλίες, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός). Το κόστος των επιμέρους αυτών στοιχείων εντάσσεται συνήθως στα λειτουργικά έξοδα του συστήματος, όμως εάν το κόστος κάποιου από αυτά είναι ιδιαίτερα υψηλό και η διάρκεια ζωής αυτού είναι μικρή, τότε ενδέχεται να δημιουργηθεί έντονο πρόβλημα στην οικονομικότητα του συστήματος.

Για το λόγο αυτό, πρέπει να προβλέπεται η παράμετρος αυτή από την ανάλυση του κύκλου ζωής του συστήματος. Για να είναι οικονομικά αποδοτική η εφαρμογή, τίθεται ένα ανώτατο όριο του χρόνου απόσβεσης, που εξαρτάται από το χρόνο ζωής κάποιων στοιχείων του εξοπλισμού υψηλού κόστους. Ακολουθούν κάποιες ενδεικτικές τιμές διάρκειας ζωής που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού αναμένεται ότι έχουν διάρκεια ζωής περίπου 60 χρόνια. Οι αντλίες των συστημάτων γκρι νερού είναι ευάλωτες στη φθορά λόγω της μηχανικής φύσης της λειτουργίας τους και του μεταβαλλόμενου φορτίου με το οποίο υποβάλλονται να λειτουργήσουν. Η εγγύηση πολλών κατασκευαστών είναι για ένα (1) χρόνο, παρόλα αυτά η διάρκεια ζωής πολλών αντλιών φτάνει περίπου τα 10, ίσως και 15 χρόνια.

Μερικά εξαρτήματα σε κάποια συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού, όπως οι μεμβράνες ή οι λαμπτήρες στις μονάδες απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία UV, έχουν σχετικά μικρό προσδόκιμο ζωής και χρειάζονται αντικατάσταση κάθε 1 με 2 χρόνια (Parkes et al., 2010).

10.3.4 Απόσβεση της Επένδυσης

Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την απόσβεση της επένδυσης του αρχικού κεφαλαίου εξαρτάται από το ύψος του καθαρού εξοικονομούμενου κόστους, ανά έτος για παράδειγμα. Ο τύπος που περιγράφει το ετήσιο καθαρό εξοικονομούμενο κόστος (δηλαδή κέρδος) R (€/έτος) είναι ο εξής:

$$R = R_{WS} - C_{O\&M}$$

όπου R_{WS} (€/έτος) είναι το ετήσιο εξοικονομούμενο κόστος (μεικτό έσοδο) από τους μειωμένους λογαριασμούς, εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης νερού (Water Save). Από το έμμεσο αυτό έσοδο, όμως, αφαιρείται το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Operation & Maintenance) $C_{O\&M}$ (€/έτος). Έτσι, προκύπτει το ετήσιο κέρδος R . Για να υπάρχει πιθανότητα να συντελεστεί απόσβεση, θα πρέπει το καθαρό εξοικονομούμενο κόστος R να είναι θετικό.

Ο τύπος που μας δίνει το απαιτούμενο ετήσιο καθαρό κέρδος R (€/έτος), για να αποσβεστεί ένα κεφάλαιο C (€) σε n έτη, με επιτόκιο i (π.χ. $i = 5,5\%$), είναι ο εξής:

$$R = \left(\frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right) \times C$$

Αντιστρόφως, από την εξίσωση αυτή, αν έχουμε εκτιμήσει το ετήσιο κέρδος R , μπορούμε να υπολογίσουμε τον απαιτούμενο χρόνο αποσβέσεως n . Ο τύπος θα έχει τη μορφή:

$$n = \frac{\log\left(\frac{1}{1 - \left(\frac{C \times i}{R}\right)}\right)}{\log(1 + i)}$$

Είναι εμφανές ότι μόνο όταν $R > C \times i$ είναι θετική η έκφραση εντός του λογαρίθμου του αριθμητή, δηλαδή τότε μόνο μπορεί να υπάρχει αποτέλεσμα, που σημαίνει να μπορεί να αποσβεστεί το αρχικό κεφάλαιο σε κάποιο αριθμό ετών ($n > 0$). Αυτό είναι λογικό, αφού μόνο εάν το ετήσιο κέρδος R είναι μεγαλύτερο από τον ετήσιο τόκο του επενδυτικού κεφαλαίου, υπάρχει πιθανότητα να υπάρξει απόσβεση κάποια στιγμή.

Όμως, ο κύκλος ζωής του συστήματος είναι περιορισμένος. Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του συστήματος συνιστά ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού επενδυτικού κεφαλαίου και γι' αυτό θα πρέπει ο χρόνος αποσβέσεως να είναι μικρότερος από τον ωφέλιμο χρόνο ζωής του συστήματος. Ένας ενδεικτικός ωφέλιμος χρόνος για ένα σύστημα γκρι νερού όπως του παραδείγματός μας είναι διάρκειας 15 ετών. Θα πρέπει λοιπόν $n < 15$ (Friedler and Hadari, 2006).

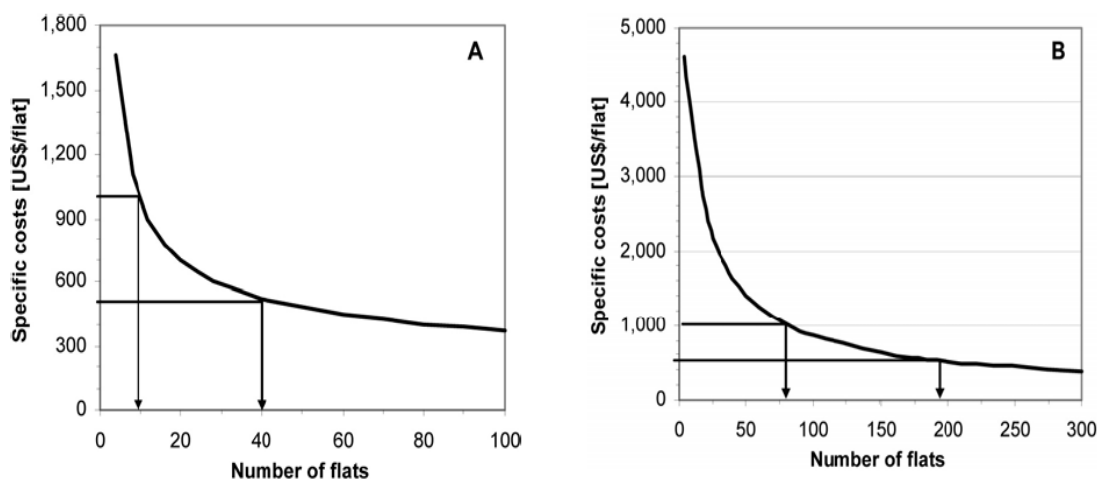
10.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης του παραδείγματος

Η παραπάνω ανάλυση που εφαρμόστηκε στη μελέτη περίπτωσης του Ισραήλ και τα αποτελέσματα αυτής, ανέδειξαν σημαντικά συμπεράσματα (Friedler and Hadari, 2006).

10.4.1.1 Μεταβολή Ειδικού Κόστους Κεφαλαίου με Αριθμό Διαμερισμάτων

Στο Σχήμα 10-2 παρουσιάζεται η σχέση του ειδικού κόστους επένδυσης (κεφαλαίου) με τον αριθμό διαμερισμάτων για τα συστήματα επεξεργασίας RBC-Εικ. Α και MBR-Εικ. Β. Το ειδικό κόστος επένδυσης [(US) \$/διαμέρισμα(flat)] για τα συστήματα RBC και MBR μεταβάλλεται έντονα ανάλογα το μέγεθος του συστήματος, ιδιαίτερα στα μικρά συστήματα. Είναι εμφανές ότι όσο περισσότερα διαμερίσματα εντάσσονται στο σύστημα τόσο μικρότερο είναι το ειδικό κόστος, δηλαδή το κόστος που αντιστοιχεί σε καθένα από αυτά. Αυτό συμβαίνει, διότι όταν αυξάνεται ο αριθμός των διαμερισμάτων αυξάνεται λιγότερο το κόστος των αυξημένων απαιτήσεων των εγκαταστάσεων σε σχέση με το μειωμένο κόστος που προκύπτει από το διαμοιρασμό του συνολικού κόστους του συστήματος. Επιτυγχάνεται δηλαδή κατ' αυτόν τον τρόπο οικονομία κλίμακας.

Παρατηρούμε ότι το σύστημα RBC (Α) είναι πιο οικονομικό στις μικρές εφαρμογές, από ό,τι το σύστημα MBR (Β), αφού για δεδομένο αριθμό διαμερισμάτων το ειδικό κόστος επένδυσης είναι μικρότερο. Ή αλλιώς, μια ομάδα 9-10 διαμερισμάτων αρκεί ώστε το ειδικό κόστος της επένδυσης για ένα σύστημα RBC να είναι περίπου 1000 (US) \$/flat, ενώ για το ίδιο αυτό ειδικό κόστος ένα σύστημα MBR θα απαιτούσε μεγαλύτερη ομάδα διαμερισμάτων, περίπου 80.



Σχήμα 10-2 Ειδικό κόστος κεφαλαίου σε σχέση με τον αριθμό διαμερισμάτων για τα συστήματα επεξεργασίας RBC-Εικ. Α και MBR-Εικ. Β (Friedler and Hadari, 2006).

10.4.1.2 Σχέση του Ειδικού Κόστους Λειτουργίας και Συντήρησης, του Ειδικού Οφέλους και του Ειδικού Κέρδους, με τον Αριθμό Διαμερισμάτων

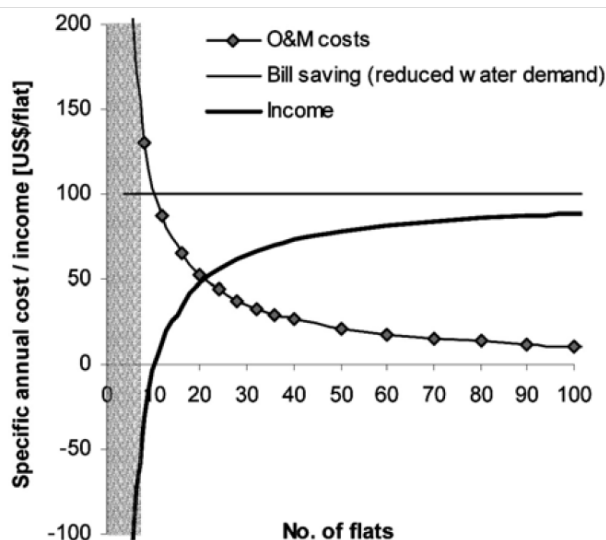
Στο Σχήμα 10-3 παρουσιάζεται το ειδικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M), δηλαδή το κόστος [(US) \$/flat] της συλλογής, της επεξεργασίας και της μεταφοράς για επαναχρησιμοποίηση, σε σχέση με τον αριθμό διαμερισμάτων του συστήματος. Το σχήμα αυτό αφορά το σύστημα επεξεργασίας RBC. Παρατηρούμε ότι και αυτή η κατηγορία ειδικού κόστους παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή αυτή της οικονομίας κλίμακας. Με την αύξηση των χρηστών διαμοιράζεται το κόστος λειτουργίας και συντήρησης σε περισσότερα μέρη και η συνεπαγόμενη μείωση του κόστους αυτού είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αύξηση που οφείλεται στα αυξημένα λειτουργικά κόστη.

Στο ίδιο σχήμα, εκτός από το ειδικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M) παρουσιάζεται και η γραφική παράσταση του ειδικού ετήσιου οφέλους [(US) \$/flat], δηλαδή του εξοικονομούμενου ετήσιου κέρδους που προκύπτει από τη μειωμένη ζήτηση νερού από το δίκτυο πόσιμου νερού. Το ειδικό αυτό όφελος είναι ανεξάρτητο από τον αριθμό των διαμερισμάτων (number of flats) που συμμετέχουν σε κοινό σύστημα, αφού εξαρτάται αποκλειστικά από τη ζήτηση πόσιμου νερού κάθε διαμερίσματος από το δίκτυο. Στο παράδειγμά μας, με την παραδοχή ότι όλα τα διαμερίσματα έχουν την ίδια ζήτηση, το όφελος αυτό είναι το ίδιο για κάθε διαμέρισμα. Οπότε, το ειδικό όφελος, δηλαδή το όφελος κάθε διαμερίσματος, αναπαρίσταται από μία ευθεία οριζόντια γραμμή, που αντιπροσωπεύει μία τιμή.

Η τιμή του ετήσιου οφέλους για κάθε διαμέρισμα υπολογίζεται ως το γινόμενο της μηνιαίας τιμής αγοράς της μονάδας νερού [(US) \$/(m³/month)], η οποία στο παράδειγμά μας είναι (σταθμισμένη) 1.16 (US) \$/(m³/month) (+0,3 χρέωση για αποχέτευση = 1,46), επί την μηνιαία εξοικονομούμενη ποσότητα νερού, η οποία στο παράδειγμά μας είναι 5,7 m³/month (όση και η μηνιαία χρήση του νερού της τουαλέτας ανά διαμέρισμα), επί 12 μήνες που διαθέτει ένα έτος. Το αποτέλεσμα είναι ότι το ειδικό ετήσιο όφελος για κάθε διαμέρισμα είναι 100 (US) \$.

Αφαιρώντας από το ετήσιο ειδικό όφελος το ετήσιο ειδικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, προκύπτει το ετήσιο ειδικό κέρδος ανά διαμέρισμα. Στο παράδειγμά μας το

κέρδος αυτό προκύπτει θετικό όταν ο αριθμός των διαμερισμάτων που αποτελούν το σύστημα υπερβαίνει τα 12 (πολυκατοικία 3 ορόφων, με την παραδοχή 4 διαμερισμάτων ανά όροφο). Ο αντίστοιχος αριθμός διαμερισμάτων, για τη χρήση συστήματος MBR προκύπτει $24 \div 28$ (6÷7 όροφοι).

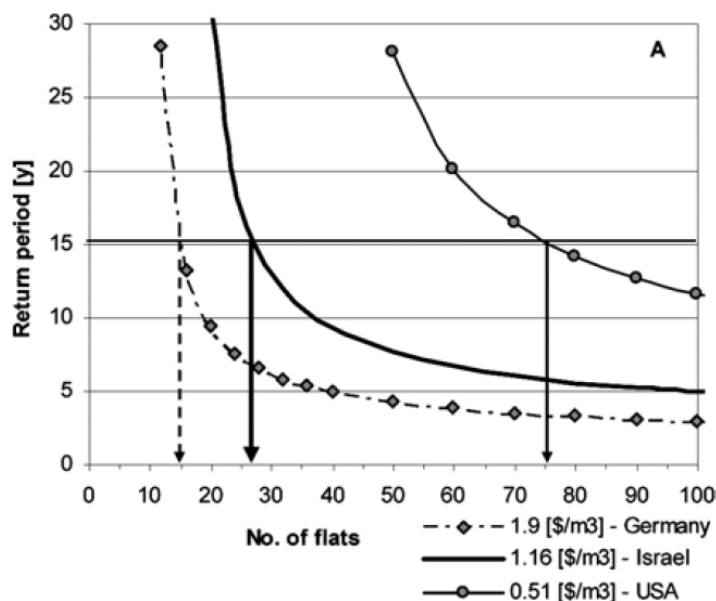


Σχήμα 10-3 Ετήσιο ειδικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M), ετήσιο ειδικό όφελος, ετήσιο ειδικό κέρδος, σε σχέση με τον αριθμό διαμερισμάτων, για το σύστημα επεξεργασίας RBC (Friedler and Hadari, 2006).

10.4.1.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Χρόνο Αποσβέσεως

Όπως έχει όμως προαναφερθεί, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες και τίθενται κάποια όρια για να αποσβεστεί το κόστος του επενδυτικού κεφαλαίου (π.χ. επιτόκιο, διάρκεια ζωής). Έχουμε ήδη θέσει ενδεικτικά ως όριο μία διάρκεια 15 ετών, ώστε να συντελεστεί η απόσβεση. Στο Σχήμα 10-4 φαίνεται ο σημαντικότερος ρόλος της τιμής (αγοράς) της μονάδας (πόσιμου) νερού, στον καθορισμό του απαραίτητου αριθμού ορόφων του συστήματος (με επεξεργασία RBC), ώστε αυτό να μπορέσει να είναι οικονομικά αποδοτικό σε 15 έτη. Από το σχήμα αυτό συνάγεται και η μεγάλη επιρροή της τιμής αυτής, στην οικονομική ανάλυση του συστήματος, για μικρά αποκεντρωμένα συστήματα.

Παρατηρούμε ότι με την τιμή 1,16 (US) $\$/m^3$ στο Ισραήλ απαιτούνται τουλάχιστον $26 \div 28$ διαμερίσματα (πολυκατοικία 7 ορόφων) για να συντελεστεί η απόσβεση εντός 15 ετών. Είναι λογικό ότι όταν είναι φθηνότερη η μονάδα νερού, τότε θα είναι μεγαλύτερος ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός διαμερισμάτων, διότι το εξοικονομούμενο ειδικό κόστος (όφελος) θα είναι μικρότερο, άρα μικρότερο θα είναι και το ειδικό κέρδος, οπότε θα καθυστερεί περισσότερο χρόνο για να συντελεστεί η απόσβεση. Με την μικρότερη τιμή 0,51 (US) $\$/m^3$ στις Η.Π.Α. ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός διαμερισμάτων είναι 76 (19 όροφοι), ενώ με την ακριβότερη τιμή της Γερμανίας 1,9 (US) $\$/m^3$ ο αντίστοιχος αριθμός διαμερισμάτων πέφτει μόλις στα 15 (4 όροφοι), που αποτελεί μια περισσότερο συνηθισμένη πολυκατοικία.



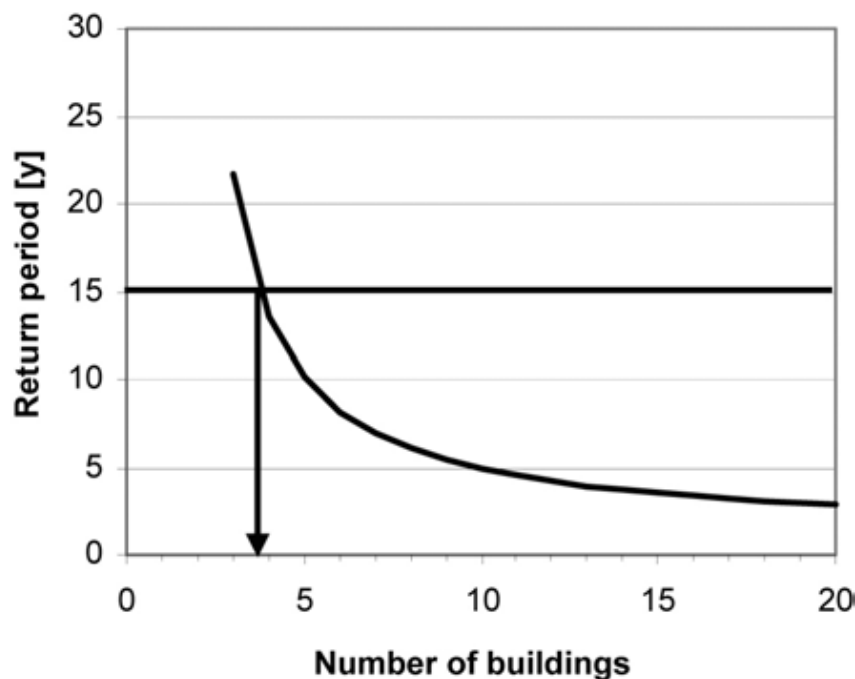
Σχήμα 10-4 Επιρροή της τιμής της μονάδας νερού στο χρόνο απόσβεσης/στον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό διαμερισμάτων. Σύστημα RBC. (Friedler and Hadari, 2006)

10.4.1.3.1 Χρόνος Αποσβέσεως MBR - Ομάδες Πολυκατοικιών

Ο αντίστοιχος ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός διαμερισμάτων για χρήση συστήματος επεξεργασίας MBR, στην ίδια περίπτωση στο Ισραήλ, προκύπτει πολύ μεγαλύτερος, 152 διαμερίσματα (38 όροφοι), ενώ ακόμα και με την τιμή της Γερμανίας απαιτούνται πολυκατοικίες 20 ορόφων.

Μπορεί μεν να μην συνηθίζονται τόσο μεγάλες μεμονωμένες πολυκατοικίες, υπάρχει όμως η δυνατότητα σχηματισμού ομάδας πολυκατοικιών που θα συνιστούν ένα κοινό σύστημα γκρι νερού. Η διαδικασία της οικονομικής ανάλυσης σε αυτήν την περίπτωση είναι η ίδια, απλώς τώρα θα πρέπει να υπολογιστούν δύο (2) επιπρόσθετοι αγωγοί, έναν για τη μεταφορά του ανεπεξέργαστου γκρι νερού στις κοινές εγκαταστάσεις συλλογής και επεξεργασίας και άλλον έναν για την επαναδιανομή του επεξεργασμένου νερού σε κάθε πολυκατοικία. Έτσι, για παράδειγμα, μπορούμε να προσθέσουμε στο κόστος κεφαλαίου 2 ακόμη αγωγούς των 50 μέτρων (με κόστος 6 (US) \$/m) για κάθε πολυκατοικία, προσθέτοντας και το λειτουργικό κόστος που τους αντιστοιχεί.

Στο παράδειγμά μας, με βάση έναν τύπο πολυκατοικίας 10 ορόφων (δηλαδή 40 διαμερισμάτων), εκτιμήθηκε ότι μπορεί να λειτουργήσει οικονομικά αποδοτικά ένα σύστημα τεσσάρων (4) τέτοιων πολυκατοικιών και ο χρόνος απόσβεσης εκτιμήθηκε στα 13,5 έτη. Είναι πάντως ενδεικτικό της οικονομίας κλίμακας, το γεγονός ότι ο χρόνος απόσβεσης ελαττώνεται στα 4,9 έτη, εάν το σύστημα περιλαμβάνει 10 πολυκατοικίες αυτού του τύπου (Σχήμα 10-5).



Σχήμα 10-5 Σχέση αριθμού πολυκατοικιών ενός συστήματος και χρόνος αποσβέσεως (Friedler and Hadari, 2006).

10.5 Κόστη που έχουν αναφερθεί στο Εμπόριο και σε Εφαρμογές

Στην έρευνα των *Venkatesh and Brattebø*, (2011) υπολογίστηκε η κατανομή του κόστους, κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης, ενός συστήματος επεξεργασίας μεικτών λυμάτων και ήταν η εξής: Μισθοί 35%, ενέργεια 34%, χημικά 16%, άλλα υλικά 13% και συντήρηση 15%. Σε ένα σύστημα γκρι νερού όμως η κατανομή του κόστους λειτουργίας και συντήρησης (O&M) αναμένεται να διαφέρει. Κύριος παράγοντας θα είναι το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται για την άντληση και τη μεταφορά της επεξεργασμένης ροής ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί. Αυτό όμως αφορά κυρίως τις εφαρμογές όπου η επαναχρησιμοποίηση αφορά χρήσεις στο εσωτερικό του νοικοκυριού, είτε γενικότερα αν απαιτείται ανύψωση του επεξεργασμένου όγκου.

Στην έρευνα των (*Butler and Makropoulos*, 2006) το εύρος του κόστους κεφαλαίου των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης νερού σε επίπεδο κατοικίας υπολογίζεται $£1050 \div £1900$ ($1207,5€ \div 2185€^7$), ενώ το ετήσιο λειτουργικό κόστος μαζί με το κόστος συντήρησης υπολογίζονται $£27 \div £135$ ($31,05€ \div 155,25€$) (με υπόθεση κόστους, $K = £0,06$ ανά kWh).

Στην περίπτωση της μητροπολιτικής περιοχής της Βαρκελώνης, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο «κοινωνική αποδοχή» της παρούσας εργασίας, ο μέσος όρος του κόστους κεφαλαίου ανέρχεται σε 516 € ανά διαμέρισμα, που αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 0,2% του συνολικού κόστους ενός καινούριου διαμερίσματος. Σημειώνεται, ότι κάθε σύστημα εξυπηρετεί κατά μέσο όρο 21 διαμερίσματα. Πέρα από τα εξωτερικά οφέλη η χρήση αυτού του συστήματος δεν αποδίδει – άμεσα τουλάχιστον – κάποιο χρηματικό όφελος. Το κόστος ενός μέσου νοικοκυριού στην Καταλονία από τη χρήση πόσιμου νερού για το καζανάκι της τουαλέτας υπολογίζεται 65 € ανά έτος, ενώ το κόστος συντήρησης των συστημάτων γκρι νερού, ανηγμένο ανά νοικοκυριό, εκτιμάται κατά μέσο όρο 70 € ανά έτος. Με τις σημερινές

⁷ Ισοτιμία στερλίνας-ευρώ την περίοδο 2010-2011, $£1 = 1,15$ € περίπου

λοιπόν τιμές προσφοράς του πόσιμου νερού, η επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού για το καζανάκι της τουαλέτας δεν είναι οικονομικά αποδοτική ως εφαρμογή. Κρίνεται ότι στο μέλλον, η αυτοματοποίηση κάποιων διεργασιών των συστημάτων μπορεί μεν να αυξήσει το κόστος κεφαλαίου, αλλά μπορεί περισσότερο να μειώσει το λειτουργικό κόστος. Επίσης, εκτιμάται ότι είναι πολύ πιθανόν να αυξηθούν προσεχώς οι τιμές προσφοράς του πόσιμου νερού, ώστε να ανταποκρίνονται στο υψηλό κόστος του νερού που προκύπτει από την αφαλάτωση. Έτσι, είναι πιθανόν εκτός των εξωτερικών οφελών, η επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού να προσφέρει και χρηματοοικονομικά οφέλη *Domènech and Saurí (2010)*.

10.6 Ανακεφαλαίωση

Το κεφάλαιο αυτό αρχίζει με τη διάκριση του κόστους/οφέλους σε ατομικό/συλλογικό και άμεσο/έμμεσο, από την εφαρμογή αποκεντρωμένων συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού. Τα ατομικά άμεσα οφέλη προκύπτουν από τη μείωση των λογαριασμών λόγω μειωμένης ζήτησης πόσιμου νερού, ενώ τα ατομικά κόστη περιλαμβάνουν τα κόστη κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης. Τα συλλογικά οφέλη σχετίζονται με την ανακούφιση και των κεντρικών εγκαταστάσεων ύδρευσης και αποχέτευσης, τα μικρότερα λειτουργικά κόστη και τις λιγότερες απαιτήσεις των νέων υποδομών. Τα εξωτερικά (έμμεσα) οφέλη αναφέρονται κυρίως σε συλλογικό επίπεδο και δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν και να συνυπολογιστούν με τα υπόλοιπα οικονομικά οφέλη.

Το οικονομικό κόστος, σχετίζεται κυρίως με το άμεσα αντιληπτό κόστος. Αναλύεται στο κόστος κεφαλαίου και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Το κόστος κεφαλαίου συνίσταται από το κόστος αγοράς του εξοπλισμού (αγωγοί, υλικά δεξαμενών και άλλα υλικά, μονάδες επεξεργασίας και χλωρίωσης, αντλίες,) και από το εργατικό κόστος κατασκευής των υποδομών. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης συνίσταται από το εργατικό κόστος ελέγχου και συντήρησης, το κόστος των υλικών που απαιτούν τακτική αντικατάσταση (π.χ. διάλυμα χλωρίου) και το ενεργειακό κόστος επεξεργασίας και μεταφοράς του νερού προς το σημείο επαναδιάθεσης.

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια διαγράμματα με διάφορα κόστη κεφαλαίου, είτε κόστη λειτουργίας και συντήρησης, με εφαρμογή συστημάτων επεξεργασίας RBC και MBR. Εκεί, γίνεται αντιληπτή η μεγάλη μείωση που προκύπτει στο ειδικό κόστος [(US) \$ ανά διαμέρισμα} από τη συμμετοχή πολλών διαμερισμάτων σε ένα κοινό σύστημα επαναχρησιμοποίησης (οικονομία κλίμακας), αλλά και μεταξύ των δύο συστημάτων. Το κόστος κεφαλαίου για το σύστημα RBC κυμαίνεται περίπου $400 \div 1650$ (US) \$ ανά διαμέρισμα, ενώ για το σύστημα MBR $800 \div 4600$ (US) \$ ανά διαμέρισμα⁸.

Κλείνοντας, παρουσιάζεται μια μεθοδολογία υπολογισμού του χρόνου αποσβέσεως του αρχικού επενδυτικού κεφαλαίου και αν αυτό καθίσταται εφικτό. Κατά την εφαρμογή της, εκτός από τη σημασία των ομαδοποιημένων/συλλογικών συστημάτων στην επίτευξη γρηγορότερης απόσβεσης, αναδεικνύεται και η σημασία της τιμής πώλησης της μονάδας του νερού (π.χ. €/m³) στο χρόνο απόσβεσης. Μία μεγαλύτερη τιμή της μονάδας νερού επιτυγχάνει μικρότερο χρονικό διάστημα απόσβεσης.

⁸ Τα κατώτατα όρια αντιστοιχούν σε ομαδοποιημένα συστήματα των 100 διαμερισμάτων.

Προσομοίωση Συστημάτων Διαχείρισης Αστικού Νερού

Εξαιτίας της αναγκαιότητας για συστημική προσέγγιση γίνεται φανερή και η ανάγκη ανάπτυξης ομοιωμάτων, όπου θα προσομοιώνεται με ολοκληρωμένο τρόπο ο αστικός κύκλος του νερού. Η προσπάθεια προσομοίωσης του ολικού κύκλου του αστικού νερού δεν είναι πρόσφατη. Από τα μέσα όμως της δεκαετίας του 1990 έχει σημειωθεί μεγάλη αύξηση της ερευνητικής δραστηριότητας στον τομέα αυτόν και μάλιστα επεκτείνοντας το πεδίο, λαμβάνοντας υπόψιν και θέματα που σχετίζονται με την ποιότητα των υδάτων. Όμως παρόλο το έντονο ενδιαφέρον, υπάρχει δυσκολία στην ανάπτυξη αξιόπιστων και εύχρηστων εργαλείων προσομοίωσης που να δίνουν έμφαση στην παρακολούθηση όλων των υδατικών ροών και των υδατικών ρύπων, ειδικά εντός του αστικού περιβάλλοντος και ακόμη λιγότερα τα οποία εστιάζουν στη διερεύνηση των επιπτώσεων τόσο στον κύκλο του νερού όσο και στις ροές των ρύπων, από εναλλακτικά σενάρια υδατικών συστημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης που στοχεύουν στην κατανόηση και στην ποσοτικοποίηση των υπαρχόντων και εναλλακτικών διεργασιών του κύκλου του νερού και των αλληλεπιδράσεών τους, όπως επίσης και στην εκτίμηση των επιπτώσεων των εναλλακτικών επιλεγόμενων εφαρμογών. Απώτερος σκοπός είναι η ανάπτυξη βιωσιμότερων υδατικών αστικών συστημάτων, συνεπώς και βιωσιμότερων αστικών συστημάτων γενικότερα, αφού το νερό αποτελεί πόρο ύψιστης σημασίας για την οικονομία και την ποιότητα ζωής μιας κοινωνίας (*Mitchell and Diaper, 2006*), (*Lekkas et al., 2008*).

11.1 Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης Aquacycle

Ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου του περιγραφόμενου συστήματος, που έχει αναπτυχθεί και έχει δοκιμαστεί στην Αυστραλία, είναι το «Aquacycle» (*Mitchell et al., 2001*). Είναι γραμμένο σε λογισμικό MS Visual Basic (Version 6.0) (*Mitchell, 2005*).

11.1.1 Χωρική και Χρονική Κλίμακα

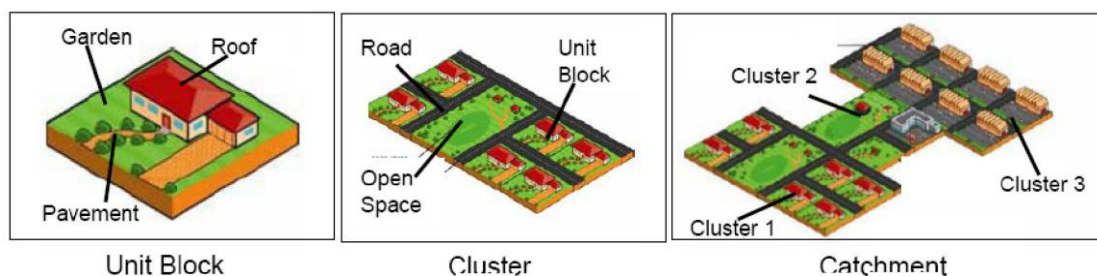
Για το χωρικό και χρονικό προσδιορισμό της κατανομής της ζήτησης νερού, της παροχής των ομβρίων και της παροχής των λυμάτων, υιοθετείται μια προσέγγιση υδατικού ισοζυγίου, για παράδειγμα βάσει της αρχής διατήρησης του όγκου του νερού. Οι χωρικές κλίμακες του μοντέλου Aquacycle είναι η Κτιριακή μονάδα, το Συγκρότημα και η Λεκάνη Απορροής (Σχήμα 11-1) (*Mitchell et al., 2001*).

Η Κτιριακή Μονάδα (Unit Block) αποτελεί τη μικρότερη δυνατή χωρική κλίμακα για τη διαχείριση των ροών και τη θεμελιώδη για το σκοπό της προσομοίωσης. Μπορεί να είναι μία μεμονωμένη οικία, μία βιομηχανική μονάδα, είτε μία μονάδα υπηρεσιών ή εμπορικών δραστηριοτήτων.

Το Συγκρότημα (Cluster) είναι μία ομάδα κτιριακών μονάδων, η οποία συνθέτει μία τοπική γειτονιά ή ένα προάστιο, μαζί με τις συσχετιζόμενες οδούς και τους ανοιχτούς δημόσιους

χώρους. Η χωρική κλίμακα ενός συγκροτήματος περιγράφει τις υδατικές ροές μίας κοινότητας, επιτρέποντας τη διαχείρισή τους στο επίπεδο αυτό, της κοινότητας.

Η Αστική Λεκάνη Απορροής(Catchment). Αποτελείται από μία ομάδα συγκροτημάτων. Συχνά, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, τα δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης ομβρίων και αποχέτευσης λυμάτων μεταξύ διαφορετικών φυσικών λεκανών απορροής αλληλεπιδρούν. Παρά ταύτα, οι λεκάνες, θεωρούνται κατάλληλες ως χωρική κλίμακα, για το σχεδιασμό των αστικών υδατικών πόρων.

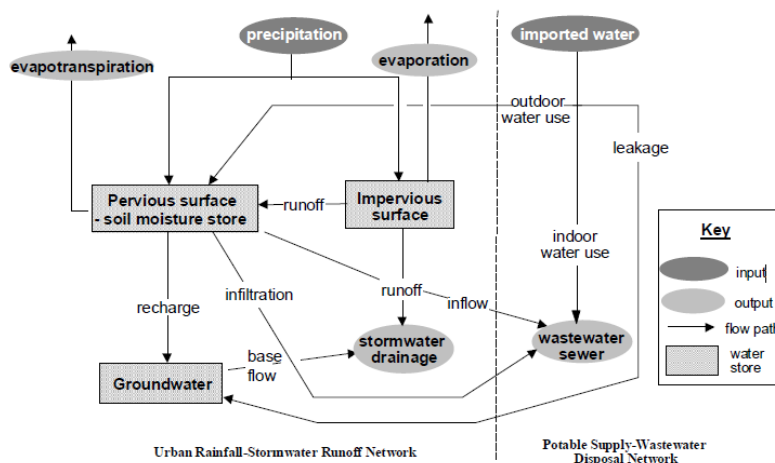


Σχήμα 11-1 Χωρικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση Aquacycle
(Πηγή: Mitchell et al., 2001; Lekkas et al., 2008)

Το ομοίωμα Aquacycle δεν βασίζεται στα συμβάντα-επεισόδια για την εκτίμηση των μεγεθών των ροών, αλλά σε κάποιο χρονικό βήμα μέσα στο οποίο αυτά πραγματοποιούνται. Για παράδειγμα, δεν μας είναι απαραίτητο το υδρογράφημα κάθε επεισοδίου της βροχής αλλά η βροχόπτωση με χρονικό βήμα μιας ημέρας, που θεωρείται συνήθως και το καταλληλότερο χρονικό βήμα. Ενδεχόμενο μικρότερο από το ημερήσιο χρονικό βήμα, παρότι θα αύξανε την ακρίβεια, θα αύξανε κατά πολύ και τις απαιτήσεις για την εισαγωγή στοιχείων-δεδομένων.

11.1.2 Αναπαράσταση του Υδατικού Κύκλου

Στο Σχήμα 11-2 παρουσιάζεται μια αναπαράσταση του αστικού υδατικού κύκλου όπως αναλύεται με την προσομοίωση Aquacycle. Το νερό εισέρχεται ως εισροή στο αστικό σύστημα από τις κατακρημνίσεις και από το εισαγόμενο νερό της υδροδότησης. Οι κύριες εκροές του νερού είναι η εξατμισοδιαπνοή, το σύστημα όμβριων υδάτων και το σύστημα αποχέτευσης λυμάτων. Τα βέλη παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο το νερό κινείται μεταξύ των διαφόρων επιφανειών και δεξαμενών, ενώ οι δεξαμενές νερού χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αλλαγών των μεγεθών αποθήκευσης νερού εντός του συστήματος (Mitchell et al., 2001). Τέτοιες δεξαμενές είναι οι στέρνες για την αποθήκευση του βρόχινου νερού, οι δεξαμενές αποθήκευσης και επεξεργασίας λυμάτων και οι δεξαμενές για την προσομοίωση της αποθήκευσης του νερού σε υπόγειους υδροφορείς και της ανάκτησής του από αυτούς.



Σχήμα 11-2 Η μορφή του αστικού υδρολογικού κύκλου όπως αναπαρίσταται από το Aquacycle (Πηγή: Mitchell, 2005).

11.1.3 Κατηγορίες Δεδομένων Εισαγωγής

Τρεις είναι οι κατηγορίες των απαραίτητων δεδομένων εισαγωγής για το Aquacycle: Τα δεδομένα ζήτησης του νερού εντός του συστήματος, τα κλιματικά δεδομένα και τα φυσικά χαρακτηριστικά (Mitchell et al., 2001).

11.1.3.1 Δεδομένα Ζήτησης του Νερού

Γίνεται ένας μικρός διαχωρισμός για τη ζήτηση του νερού, αν πρόκειται για ζήτηση από το εσωτερικό της κτιριακής μονάδας, ή από το εξωτερικό κομμάτι της. Τα δεδομένα ζήτησης εντός της κτιριακής μονάδας χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των ποσοτήτων νερού που θα χρησιμοποιούνται στην κουζίνα, στο μπάνιο, για το πλύσιμο ρούχων, ή για την τουαλέτα, για κάθε κτιριακή μονάδα στην περιοχή προσομοίωσης. Η εσωτερική ζήτηση νερού σε μια κτιριακή μονάδα (indoor water use (IWU)) προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά ζήτησης που επικρατούν στην περιοχή μελέτης (water use profile), σε συνδυασμό με τη μέση εγκατοίκηση (household occupancy) που εκτιμάται. Γίνεται ακόμα η παραδοχή, ότι ολόκληρη η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται μετατρέπεται σε ποσότητα λυμάτων, χωρίς δηλαδή απώλειες κατανάλωσης, αφού αυτές είναι συνήθως της τάξεως 2%.

Όσον αφορά την ζήτηση εκτός της κτιριακής μονάδας, αυτή σχετίζεται συνήθως με την άρδευση. Σε μια έρευνα εκτιμήθηκε ότι το αρδευόμενο νερό που χρησιμοποιείται για ιδιωτικούς κήπους αποτελεί το 16% έως 34% της συνολικής ζήτησης νερού, σε μια αστική περιοχή (Mitchell et al., 1997). Όμως αρδευτικό νερό χρησιμοποιείται και για ανοιχτούς δημόσιους χώρους, όπως είναι τα πάρκα και οι δημόσιοι κήποι.

11.1.3.2 Κλιματικά Δεδομένα

Αυτά χρειάζονται κυρίως για τον προσδιορισμό των μεγεθών της κατακρήμνισης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το μεγαλύτερο μέγεθος εκροής νερού από το σύστημα, οπότε αποτελεί σημαντικό στοιχείο του υδατικού ισοζυγίου. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού είναι περισσότερο πολύπλοκος σε αστικό περιβάλλον, από ό,τι είναι σε αγροτικό περιβάλλον, εξαιτίας του ιδιαίτερα μεταβλητού μικροκλίματος.

11.1.3.3 Φυσικά Χαρακτηριστικά, Παράμετροι Μέτρησης και Παράμετροι Βαθμονόμησης

Τα χαρακτηριστικά της περιοχής προσομοίωσης περιγράφονται από τις παραμέτρους μέτρησης (measured) και από τις παραμέτρους βαθμονόμησης (calibrated) (Mitchell et al., 2001). Κάθε παράμετρος μέτρησης περιγράφει απευθείας και σχετίζεται με ένα φυσικό χαρακτηριστικό του χωρικού συστήματος, όπως για παράδειγμα το εμβαδόν των περατών και των αδιαπέρατων επιφανειών. Μία κατάλληλη τιμή για μια παράμετρο μέτρησης μπορεί να προσδιοριστεί με μέτρηση, με παρατήρηση ή και με την εμπειρία. Στον Πίνακα 11-1 δίνεται μια λίστα των παραμέτρων μέτρησης (measured parameters), οι οποίες δίνονται ομαδοποιημένες αναλόγως τη χωρική περιοχή με την οποία σχετίζονται εντός της περιοχής προσομοίωσης: Κτιριακή μονάδα (Unit Block), συγκρότημα (Cluster), ή δημόσιος ανοιχτός χώρος (public open space).

Οι παράμετροι βαθμονόμησης προσαρμόζονται χειροκίνητα, με τη βοήθεια των στοχικών συναρτήσεων SIM/REC και SDOF, με στόχο τη βελτιστοποίηση των επιλεγμένων στοχικών συναρτήσεων (Mitchell, 2005). Στον Πίνακα 11-2 δίνεται λίστα με 16 παράμετρους βαθμονόμησης μαζί με τις μονάδες τους, τα σύμβολα και τα όριά τους. Είναι ομαδοποιημένες αναλόγως την εκροή με την οποία συνδέονται: Τα νερά της βροχής, τα λύματα και τη ζήτηση νερού.

Πίνακας 11-1 Παράμετροι Μέτρησης του μοντέλου Aquacycle (Πηγή: Mitchell et al., 2001)

Spatial scale	Measured parameter	Units	Symbol
Unit block	Number of unit blocks	no.	block _{num}
	Average unit block occupancy	persons	occ
	Average block size	m ²	block _{area}
	Average garden area	m ²	garden _{area}
	Average roof area	m ²	roof _{area}
	Average paved area	m ²	paved _{area}
	Average % of garden irrigated	%	%GI
Cluster	Cluster area	ha	clust _{area}
	Leakage	%	%L
	Road area within the cluster	ha	road _{area}
	Cluster stormwater output flows into cluster number?	number	–
	Cluster wastewater output flows into cluster number?	number	–
Public open space	Public open space area within the cluster	ha	POS _{area}
	% public open space irrigated	%	%POSI

Πίνακας 11-2 Παράμετροι βαθμονόμησης του μοντέλου Aquacycle (Πηγή: Mitchell et al., 2001)

Output	Parameter	Symbol	Units	Range
Stormwater	Percentage area of store 1	A1	%	0–100
	Pervious storage 1 capacity	PS1 _c	mm	≥0
	Pervious storage 2 capacity	PS2 _c	mm	≥0
	Roof area initial loss	RIL	mm	≥0
	Effective roof area	ERA	%	0–100
	Paved area initial loss	PIL	mm	≥0
	Effective paved area	EPA	%	0–100
	Road area initial loss	RDIL	mm	≥0
	Effective road area	ERDA	%	0–100
	Base flow index	BI	ratio	0–1
	Base flow recession constant	BRC	ratio	0–1
Wastewater	% of surface runoff as inflow	%I	%	0–1
	Infiltration index	II	ratio	0–1
Water use	Infiltration store recession constant	IRC	ratio	0–100
	Garden trigger-to-irrigate	TG	ratio	0–1
	Public open space trigger-to-irrigate	POSTG	ratio	0–1

11.1.4 Βαθμονόμηση και Επαλήθευση

Η βαθμονόμηση ενός υπολογιστικού μοντέλου όπως το Aquacycle δεν είναι μια ιδιαίτερα απλή διαδικασία: α) Έχουμε τρεις εκροές, οι τιμές των οποίων πρέπει να ταιριάζουν υπολογιστικά με τις παρατηρούμενες-πραγματικές τιμές, β) Κάποιες παράμετροι επηρεάζουν περισσότερες από μία εκροές, γ) Υπάρχει η δυσκολία της επικάλυψης των εκροών από άλλα χωρικά συστήματα. Για το λόγο αυτό υιοθετούνται επαναληπτικές διαδικασίες.

Το μοντέλο δεν έχει δυνατότητα αυτοβαθμονόμησης. Χρησιμοποιούνται κατάλληλες αντικειμενικές συναρτήσεις και γραφικές απεικονίσεις (υδρογραφήματα, γραφικές απεικονίσεις x-y με τα οποία συγκρίνονται οι παρατηρούμενες τιμές με τις τιμές της προσομοίωσης) για να κριθεί η καταλληλότητα των τιμών των εισαγομένων παραμέτρων. Δύο αντικειμενικές συναρτήσεις που έχουν κριθεί ως κατάλληλες είναι οι: α) SIM/REC, δηλαδή το άθροισμα της προσομοιωμένης ροής (simulated) διαιρεμένο με άθροισμα της καταγεγραμμένης ροής (recorded) και β) SDOF, δηλαδή το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των προσομοιωμένων και των καταγεγραμμένων ροών.

Για τη διαδικασία επαλήθευσης, ώστε να κριθεί αν το μοντέλο προσομοιώνει ικανοποιητικά τις ροές, χρησιμοποιούνται δύο μετρήσεις: α) SIM/REC και β) E, που είναι ο συντελεστής αποτελεσματικότητας. Σε γενικές γραμμές, ζητούμενο είναι ο λόγος SIM/REC να μην απέχει πολύ από την τιμή της μονάδας (1), ενώ ο συντελεστής απόδοσης E (<1) να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος, δηλαδή κοντά στην τιμή της μονάδας (Mitchell et al., 2001).

11.1.5 Δυνατότητες και Αδυναμίες

Το Aquacycle, μεταξύ άλλων, παρέχει ένα ικανοποιητικό πλαίσιο για την εκτίμηση των δυνατών εναλλακτικών εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης ομβρίων και λυμάτων εντός του αστικού υδατικού συστήματος. Διαθέσιμη στη βιβλιογραφία είναι και μια μελέτη περίπτωσης για την Ευρύτερη Περιοχή των Αθηνών, (Lekkas et al., 2008), από όπου προκύπτει ότι ενδεχόμενες εφαρμογές επιτόπιας ανακύκλωσης (on-site recycling) και επαναχρησιμοποίησης θα μπορούσαν να συμβάλλουν προς ένα περισσότερο βιώσιμο αστικό υδατικό σύστημα.

Κάποιες από τις αδυναμίες του προγράμματος Aquacycle είναι η αδυναμία του να ενσωματώνει κάποιες υδρολογικές διεργασίες όπως η υπερχείλιση των λυμάτων που αποχετεύονται και η αδυναμία προσομοίωσης της ποιότητας του νερού (Mitchell et al., 2001). Όσον αφορά την αδυναμία προσομοίωσης της ποιότητας, παρά ταύτα, το εύρος των επιλογών επαναχρησιμοποίησης έχει αναπτυχθεί βάσει κάποιων βασικών απαιτήσεων στην ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη χρήση ανεπεξέργαστου γκρι νερού για υπόγεια άρδευση, ενώ δεν μπορεί να επιλέξει τη χρήση του νερού αυτού για πόση. Μπορούν όμως να προστεθούν αλγόριθμοι, οι οποίοι θα σχετίζουν την ποιότητα του νερού με παράγοντες όπως η προέλευση των ομβρίων και των λυμάτων (για παράδειγμα ο τύπος επιφανειών της απορροής, οι διάφορες οικιακές συσκευές κατανάλωσης νερού), η πυκνότητα του πληθυσμού, ο τύπος του εδάφους, το κλίμα και η ποιότητα των κατασκευών.

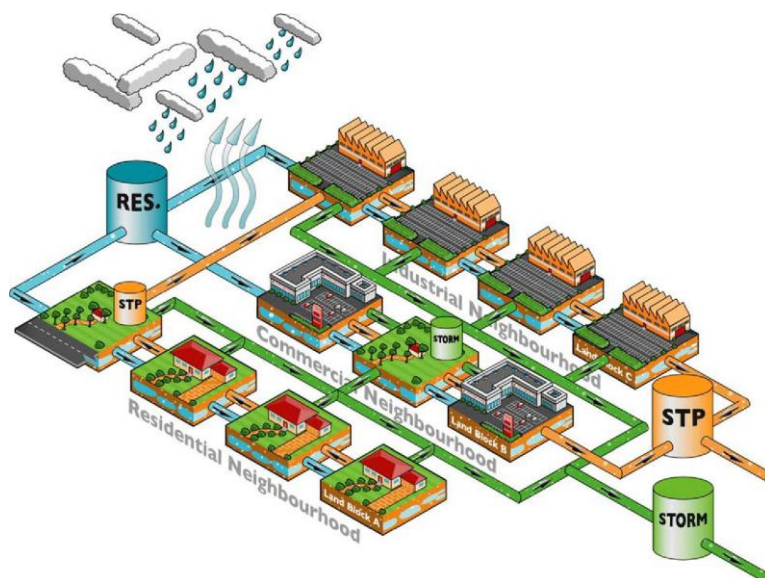
11.2 Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης UVQ

Το UVQ (Urban Volume and Quality) είναι ένα πρόγραμμα ημερήσιας προσομοίωσης του κύκλου του αστικού νερού, παρόμοιο με το Aquacycle, του οποίου αποτελεί μια εξελιγμένη μορφή, αφού προέκυψε έπειτα από τροποποίηση και επέκταση του Aquacycle (*Mitchell and Diaper 2006*). Βασίζεται επίσης σε λογισμικό Visual Basic 6.0 και χρησιμοποιεί ημερήσιο χρονικό βήμα. Το μοντέλο UVQ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ημερήσιες προσομοιώσεις από 1 μέχρι 100 έτη. Βασική διαφορά τους είναι ότι το UVQ, είναι ένα εργαλείο που αναπαριστά εκτός από τον υδατικό κύκλο και τον ρυπαντικό κύκλο του νερού σε έναν αστικό χώρο, παρέχοντας παράλληλα ευελιξία για διάφορα επιλεγόμενα εναλλακτικά σενάρια υδατικής διαχείρισης.

11.2.1 Αναπαράσταση Αστικού Υδατικού Συστήματος

Σε γενικές γραμμές ο αστικός κύκλος του νερού αναπαριστάται όπως στο μοντέλο Aquacycle όσον αφορά τις κύριες εισροές και εκροές. Μέρος του χρησιμοποιούμενου νερού δύναται να επαναχρησιμοποιηθεί και το νερό των λυμάτων μπορεί να διαχωριστεί σε γκρι και μαύρο νερό. Το δίκτυο διανομής ομβρίων προσομοιώνεται όπως και σε ήδη υπάρχοντα μοντέλα για τα όμβρια ύδατα, με τη διαφορά ότι στο μοντέλο UVQ μπορούν να συνδεθούν οι ροές των ομβρίων με τα συστήματα υδροδότησης ή λυμάτων.

Τρεις κατηγορίες χωρικής κλίμακας έχουν ενσωματωθεί στο UVQ για να περιγραφούν τα συστατικά μέρη μιας αστικής περιοχής. Αυτές είναι η οικιστική μονάδα (land block), η γειτονιά (neighbourhood) και η περιοχή μελέτης (study area). Η οικιστική μονάδα μπορεί να αφορά ένα οικόπεδο, είτε ένα οικοδομικό τετράγωνο, είτε ένα κτίριο, με τις σχετικές εσωτερικές και εξωτερικές χρήσεις νερού και τις περιβάλλουσες επενδεδυμένες είτε διαπερατές επιφάνειες, (π.χ. διαμερίσματα, μονοκατοικίες, εμπορικοί χώροι, βιομηχανικοί χώροι). Η γειτονιά αποτελείται από έναν αριθμό ξεχωριστών οικιστικών μονάδων συμπεριλαμβανομένων και των αντίστοιχων οδών και των ανοιχτών δημοσίων χώρων. Η περιοχή μελέτης μπορεί να είναι μία γειτονιά είτε πολλές γειτονιές ως σύνολο, οι οποίες μπορεί να μην χαρακτηρίζονται από όμοια χρήση γης ή όμοιες υδατικές εφαρμογές. Η αλληλουχία με την οποία τα όμβρια και τα λύματα μεταφέρονται από μία γειτονιά σε μία άλλη καθορίζεται από το χρήστη κι έτσι περιγράφεται η κίνηση των ροών για ολόκληρη την περιοχή αυτή (Σχήμα 11-3).



Σχήμα 11-3 Αναπαράσταση του ολικού κύκλου του νερού από το UWQ σε μια περιοχή μελέτης (Πηγή: *Mitchell and Diaper, 2006*).

Στο μοντέλο UWQ εκτός από τον υδατικό κύκλο προσομοιώνεται και ο ρυπαντικός κύκλος. Η χαρτογράφηση των προσμείξεων στο μοντέλο απορρέει άμεσα από τη χαρτογράφηση των υδατικών ροών. Έτσι, διαφοροποιήσεις στη διανομή του νερού επιδρούν άμεσα στη διαδρομή που ακολουθούν και οι προσμείξεις αυτές εντός του αστικού περιβάλλοντος. Οι προσμείξεις περιγράφονται στο μοντέλο προσδιορίζοντας το φορτίο, τη συγκέντρωση και πληροφορίες που αφορούν την υδατική ροή, για κάθε ρύπο (*Mitchell and Diaper, 2006*).

11.2.2 Απαιτήσεις Δεδομένων Εισαγωγής.

Τα απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής αφορούν τη χωρική κλίμακα της προσομοίωσης, τον τύπο των χρήσεων γης (ζώνες κατοικιών, εμπορικών επιχειρήσεων, ελαφράς βιομηχανίας, πρασίνου) και μπορεί να είναι είτε γενικά είτε εξειδικευμένα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Για την προσομοίωση εναλλακτικών επιλογών υδατικής διαχείρισης απαιτούνται πληροφορίες κατάλληλων χωρητικοτήτων αποθήκευσης, επιδόσεων επεξεργασίας, υδατικών πηγών και χρήσεων, ποσοστών απορρόφησης και πληροφορίες χάραξης υδατικών διαδρομών (Πίνακας 11-3). Τα κλιματικά δεδομένα εισαγωγής που χρειάζονται είναι η αντιπροσωπευτική ημερήσια βροχόπτωση και η εξάτμιση, για το σύνολο της χρονικής περιόδου προσομοίωσης.

Πίνακας 11-3 Υδατικές χρήσεις νερού και πιθανές πηγές υδροδότησης στο μοντέλο UVQ (Πηγή: *Mitchell and Diaper, 2006*).

Water supply source	End use					
	Kitchen	Bathroom	Laundry	Toilet	Garden irrigation	Open space irrigation
Imported water	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rainwater tank	✓	✓	✓	✓	✓	
Untreated greywater					✓	
Onsite treated greywater or wastewater				✓	✓	
Groundwater					✓	✓
Aquifer storage and recovery				✓	✓	✓
Neighbourhood scale stormwater				✓	✓	✓
Neighbourhood scale wastewater				✓	✓	✓
Study area scale stormwater				✓	✓	✓
Study area scale wastewater				✓	✓	✓

Απαραίτητες είναι ακόμα πληροφορίες που περιγράφουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων που μεταφέρονται και αφορούν το πόσιμο νερό, τα όμβρια ύδατα, το νερό γεωτρήσεων, το νερό που εξατμίζεται, αλλά και των ρύπων που βρίσκονται σε επιφάνειες όπως στέγες, οδούς και άλλες επενδεδυμένες επιφάνειες απορροής. Επιπροσθέτως, ζητούνται τα ρυπαντικά φορτία που προκύπτουν από τις διάφορες χρήσεις νερού, όπως στην κουζίνα, στο μπάνιο, στο πλυντήριο ρούχων, στην τουαλέτα, ή από τη χρήση λιπασμάτων (*Mitchell and Diaper, 2006*).

11.2.3 Διεργασίες Επεξεργασίας.

Στο μοντέλο UVQ μπορούν να αναπαρασταθούν μονάδες επεξεργασίας νερού σε όλες τις χωρικές κλίμακες, δηλαδή σε επίπεδο οικιστικής μονάδας, γειτονιάς και περιοχής μελέτης. (Σχήμα 11-3). Οι διεργασίες της επεξεργασίας μπορεί να είναι φυσικές (π.χ. καθίζηση), χημικές (π.χ. συσσωμάτωση), βιολογικές. Οι αλγόριθμοι του μοντέλου δεν διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο επεξεργασίας. Ο τύπος με τον οποίο αναπαρίσταται η επεξεργασία είναι ο Αντιδραστήρας Ροής Πλήρους Ανάμιξης (ΑΡΠΑ) (Continuous Stirred Tank Reactors (CSTR)). Αυτό απλοποιεί κατά πολύ την πολυπλοκότητα στην προσομοίωση της επεξεργασίας, όμως κρίνεται κατάλληλος ο τρόπος αυτός, αφού ζητούμενο είναι η αρχική εκτίμηση εναλλακτικών σεναρίων υδατικής διαχείρισης και όχι η λεπτομερής προσομοίωση και ο σχεδιασμός των διεργασιών επεξεργασίας. Απλές λειτουργίες ανάμειξης, επεξεργασίας και μεταφοράς χρησιμοποιούνται σε ημερήσια βάση, για την εξαγωγή αποτελεσμάτων όσον αφορά τα ρυπαντικά χαρακτηριστικά των ροών (*Mitchell and Diaper, 2006*).

11.2.4 Παραγόμενο Αποτέλεσμα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του UVQ δίνονται με τη μορφή πινάκων είτε γραφημάτων και δημιουργούν μια σειρά αρχείων εξόδου υπό τη μορφή συμβατών λογιστικών φύλλων. Τα αποτελέσματα αυτά παρέχουν λεπτομέρειες για τις υδατικές ροές και την ποιότητα, για τις οικιστικές μονάδες, τις γειτονιές και για όλη την περιοχή μελέτης. Οι υδατικές ροές δίνονται σε μια βάση είτε ημερήσια, είτε μηνιαία, είτε ετήσια. Οι τιμές όμως του ρυπαντικού ισοζυγίου δίνονται σε μηνιαία ή σε ετήσια βάση (*Mitchell and Diaper, 2006*).

11.3 Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης UWOT

Ένα ακόμα ομοίωμα που στοχεύει στην ολοκληρωμένη προσομοίωση του αστικού κύκλου του νερού είναι το UWOT. Πρόκειται για ένα βοηθητικό εργαλείο, που έχει δημιουργηθεί με σκοπό να υποστηριχθεί η λήψη αποφάσεων, που αφορούν το στρατηγικό σχεδιασμό βιώσιμων συστημάτων διαχείρισης νερού. Το UWOT βασίζεται σε μια προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου, η οποία επιτρέπει τη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των κύριων αστικών υδατικών ροών. Η προσομοίωση αυτή αντλεί πληροφορίες από μια «Βιβλιοθήκη», όπου είναι καταχωρημένη τεχνολογική γνώση, διάφορες ενδεικτικές τεχνολογικές επιλογές-λύσεις, με τα αντίστοιχα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κάθε επιλογής. Στόχος του UWOT είναι η παροχή ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών προς τους λήπτες αποφάσεων, όσον αφορά τη διερεύνηση εναλλακτικών στρατηγικών διαχείρισης του νερού, απλοποιώντας τη σύγκρισή τους. Έτσι, διευκολύνεται και η επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων και παραγόντων. Το εργαλείο αυτό δεν αντικαθιστά την κρίση του διαχειριστή αλλά την υποστηρίζει, αφού επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων πέραν από τα προφανή (*Makropoulos et al., 2008*). Το UWOT αποτελείται από τρία αρχεία (*Rozos, 2009*):

- Το UWOT_GUI.xls (Graphical User Interface). Πρόκειται για το βασικό αρχείο στο οποίο εργάζεται ο χρήστης, όπου και αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το αρχείο αυτό, που είναι βασισμένο σε λογισμικό Excel, διευκολύνει τη χρήση του UWOT από χρήστες που δεν είναι εξοικειωμένοι με τη χρήση MATLAB και Simulink.
- Το UWOT_TECHLIB.xls (Technology Library). Είναι η Βιβλιοθήκη τεχνολογικών εφαρμογών.
- Το wandot21_OWS.dll. Πρόκειται για τη μηχανή του UWOT. Εδώ γίνεται η προσομοίωση των υδατικών ροών της περιοχής μελέτης, για την περίοδο προσομοίωσης.

Παρακάτω περιγράφουμε κάποια βασικά στοιχεία με τα οποία σκιαγραφούμε την προσομοίωση UWOT.

11.3.1 Τύποι Υδάτων

Στο ομοίωμα αυτό διακρίνονται πέντε τύποι υδάτων:

- Το πόσιμο νερό ή «άσπρο» νερό (potable)
- Το «γκρι» νερό (greywater)
- Το επεξεργασμένο γκρι νερό ή «πράσινο» νερό (greenwater)
- Τα υγρά απόβλητα ή «μαύρο» νερό (blackwater/wastewater)
- Η απορροή (runoff)

Οι τύποι αυτοί υδάτων δεν αντιστοιχούν απαραίτητως στις τρεις βασικές ροές που έχουμε προαναφέρει (κεντρική παροχή πόσιμου νερού, διάθεση λυμάτων και απορροή ομβρίων).

Εισάγονται όμως για να διευκολυνθεί η κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος και των αλληλεπιδράσεων των ροών του (Makropoulos et al., 2008).

11.3.1.1 Πόσιμο Νερό

Το πόσιμο νερό είναι εξ ορισμού το νερό του οποίου η ποιότητα πληροί τις προϋποθέσεις που το καθιστούν κατάλληλο για πόση. Ωστόσο η επεξεργασία του νερού ώστε αυτό να καταστεί πόσιμο είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και ενεργοβόρα.

11.3.1.2 Γκρι Νερό

Το «γκρι» νερό είναι ένα αραιό μέρος του συνόλου των λυμάτων μιας κατοικίας, με σαφώς μικρότερο ρυπαντικό φορτίο. Το νερό αυτό προέρχεται από οικιακές δραστηριότητες όπως από το μπάνιο, από το πλύσιμο των χεριών, το πλύσιμο των πιάτων, το πλύσιμο των ρούχων, τον καθαρισμό και την ετοιμασία του φαγητού. Το νερό αυτό περιέχει οργανικό υλικό, για παράδειγμα υπολείμματα τροφών που περιέχουν και παθογόνα και ανόργανο υλικό, όπως χύμα, άλατα και ανόργανα στοιχεία που βρίσκονται σε απορρυπαντικά. Το «γκρι» νερό είναι δυνατόν, λόγω του μικρότερου ρυπαντικού φορτίου, υπό προϋποθέσεις, να αντικαταστήσει κάποιες ποσότητες πόσιμου νερού για άλλους σκοπούς εκτός της πόσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ζήτηση σε πόσιμο νερό και συμβάλλοντας κατ' αυτόν τον τρόπο στη διατήρηση πολύτιμων υδάτινων πόρων (βλ. παράγραφο «Επαναχρησιμοποίηση Γκρι Νερού»).

11.3.1.3 Πράσινο Νερό

«Πράσινο» αποκαλούμε το επεξεργασμένο γκρι νερό και το επεξεργασμένο νερό της βροχής που είναι έτοιμο για επαναχρησιμοποίηση. Το νερό της βροχής συνήθως είναι ελάχιστα ρυπαντικά επιβαρυνόμενο και αυτό εξαρτάται μεταξύ άλλων από την τοποθεσία, το υλικό των σκεπών των κτιρίων από όπου συλλέγεται και από την κατασκευή του συστήματος συλλογής. Οι υποδομές που απαιτούνται για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού αποτελούνται από τα συστήματα συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης. Το κύριο μειονέκτημα είναι η απρόβλεπτη και άνισα χρονικά κατανεμημένη παροχή του νερού της βροχής, που έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης. Για το βρόχινο νερό θεωρείται γενικώς αποδεκτή η ελαφριά επεξεργασία και η απολύμανση για μη πόσιμη χρήση. Για το γκρι νερό απαιτείται περισσότερη επεξεργασία από ό,τι για το βρόχινο προκειμένου να επιτευχθεί μία αποδεκτή ποιότητα νερού. Το πράσινο νερό δύναται να αποτελεί μία εναλλακτική επιλογή αντί του πόσιμου νερού, σε μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι το (ανεπεξέργαστο) γκρι νερό, για χρήσεις βεβαίως εκτός της πόσης.

11.3.1.4 Μαύρο Νερό

«Μαύρο νερό», στα συμβατικά συστήματα διαχείρισης νερού, είναι το σύνολο των λυμάτων που παράγονται και σε πολλές περιπτώσεις αποχετεύονται για να επεξεργαστούν σε κεντρικές μονάδες επεξεργασίας, πριν αφεθούν στο περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας συστήματα επαναχρησιμοποίησης η παραγόμενη αυτή ποσότητα μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Στην προσομοίωση UWOT το γκρι νερό λογίζεται ξεχωριστά από το μαύρο νερό. Μαύρο νερό εδώ θεωρείται αυτό που εξέρχεται από το νοικοκυριό, από τη χρήση της τουαλέτας, για να επεξεργαστεί σε μονάδα κεντρικής κλίμακας. Αν όμως δεν τεθεί κάποιο σύστημα ανακύκλωσης γκρι νερού στο UWOT, τότε το σύνολο του γκρι νερού συμπεριλαμβάνεται στο μαύρο νερό.

11.3.1.5 Απορροή

Η απορροή εκφράζει μια κατηγορία υδάτων που σχετίζεται με το μέγεθος της επιφάνειας του διαπεράτου υλικού με το οποίο καλύπτονται τα αστικά εδάφη. Το νερό αυτό συνήθως γίνεται προσπάθεια να απομακρύνεται από τον αστικό χώρο για να μην προκαλούνται πλημμύρες. Όσο αναπτύσσονται οι επιφάνειες αυτές, μειώνεται η διήθηση, αυξάνονται οι παροχές αιχμής, αυξάνονται οι υδατικοί όγκοι, μειώνονται οι χρόνοι ανόδου (αιχμής) και επιταχύνεται η μεταφορά ρύπων από τον αστικό χώρο (*Niemczynowicz, 1999*). Αυτό έχει ως συνέπεια την αυξανόμενη ρύπανση των υδατορευμάτων και αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών. Κάποιες λύσεις που προτείνονται για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων είναι είτε η συλλογή του βρόχινου νερού με το επιπρόσθετο πλεονέκτημα της δυνατότητας αξιοποίησής του, είτε τα αειφόρα συστήματα αποχέτευσης (SUDS) (*Jones and Macdonald, 2006*).

11.3.2 Λογισμικό

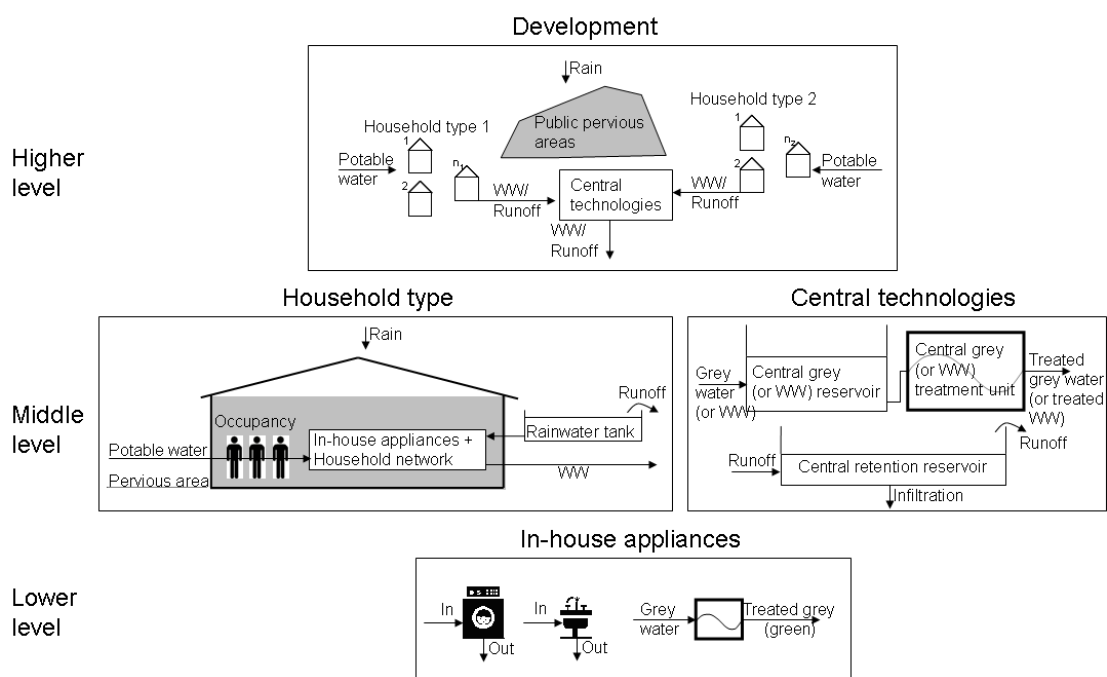
Η κατασκευή του προγράμματος προσομοίωσης UWOT σχεδιαζόταν εξ αρχής να βασιστεί πάνω σε λογισμικές πλατφόρμες απλές και ευρέως χρησιμοποιούμενες, όπως είναι το λογισμικό Microsoft Excel. Ωστόσο, τα λογισμικά φύλλα παρουσιάζουν κάποιους περιορισμούς, όπως είναι η αδυναμία προγραμματισμού πολύπλοκων αλγορίθμων λήψης αποφάσεων. Για το λόγο αυτό το Excel συνδυάστηκε με το λογισμικό Simulink (μέσω VBA, Excel's Visual Basic for Applications). Το Simulink αποτελεί ένα μέρος της σειράς εργαλείων του λογισμικού MATLAB της εταιρίας Mathworks. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει την ανάλυση, την οπτική απόδοση και την προσομοίωση δυναμικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων τα οποία μεταβάλλονται κατά την πάροδο του χρόνου. Έτσι, το Excel χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων, την αποθήκευση των χαρακτηριστικών των τεχνολογικών επιλογών και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Το Simulink κάνει τους υπολογισμούς του ομοιώματος του υδατικού ισοζυγίου, για τις συγκεκριμένες τεχνολογικές επιλογές που έχουμε εισαγάγει. Επίσης, επεξεργάζεται τα αποτελέσματα με κατάλληλο τρόπο για την αξιολόγησή τους, τη βελτιστοποίηση και την τελική παρουσίασή τους στο Excel (*Makropoulos et al., 2008*).

11.3.3 Χωρική Κλίμακα και Χρονική Κλίμακα

11.3.3.1 Χωρική Κλίμακα

Το UWOT έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης και σύγκρισης διαφόρων εναλλακτικών λύσεων, που χρησιμοποιούν είτε κεντρικά, είτε αποκεντρωμένα/τοπικά συστήματα (επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας, αποχέτευσης), είτε συνδυασμό τους. Το νερό, ανάλογα με τις επιλογές, μπορεί να πραγματοποιήσει διάφορες διαδρομές μεταξύ κεντρικών συστημάτων, μεταξύ τοπικών συστημάτων και μεταξύ κεντρικών και τοπικών συστημάτων. Έτσι, προκειμένου να αναλυθούν οι ροές αυτές χρειάστηκε να υπάρξει ένας διαχωρισμός του συστήματος ως προς τη χωρική κλίμακα, τα μέρη του οποίου αν συνδυαστούν, συνθέτουν ολόκληρο το υδατικό σύστημα της αστικής περιοχής που βρίσκεται υπό μελέτη (Σχήμα 11-4). Η κλίμακα αυτή ξεκινώντας από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο επίπεδο έχει ως εξής (*Rozos, 2009*):

- Το μικρότερο επίπεδο, το οποίο αποτελείται από τις οικιακές συσκευές. Τέτοια παραδείγματα είναι το πλυντήριο, το λουτρό/ντους και η οικιακή/τοπική μονάδα επεξεργασίας γκρι, ή βρόχινου νερού.
- Το μεσαίο επίπεδο, το οποίο αποτελείται από το(ν) «σπιτικό» / κτιριακό τύπο (household) και από τις ξεχωριστές κεντρικές τεχνολογικές υπηρεσίες (central technologies). Το σπιτικό είναι ένα τυπικό μεμονωμένο κτίριο, το οποίο μπορεί να λειτουργεί για ιδιωτική αλλά και για εμπορική ή για δημόσια χρήση. Το σπιτικό συντίθεται από το σύνολο των οικιακών συσκευών που χρησιμοποιούνται εντός του. Το UWOT – στην πρωτότυπη μορφή του - μπορεί να ενσωματώσει μέχρι έξι διαφορετικούς τύπους σπιτικών. Η μεταξύ τους διαφοροποίηση αφορά τη σύνθεση των συσκευών κατανάλωσης νερού, τις καταναλωτικές συνήθειες των χρηστών (π.χ. συχνότητα χρήσης), την κατοίκηση, τις αδιαπέρατες, περατές και επιφάνειες συλλογής νερού, όπως επίσης τις χωρητικότητες των τοπικών δεξαμενών. Οι εισερχόμενες ροές του σπιτικού είναι η βροχόπτωση, το πόσιμο νερό που ζητείται από τον πάροχο ύδρευσης κι ενδεχομένως το επεξεργασμένο (πράσινο) νερό εάν υπάρχει σχετικός σχεδιασμός. Οι εξερχόμενες ροές είναι το μαύρο νερό και η απορροή. Στην περίπτωση εφαρμογής κεντρικής επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης, ανταλλάσσεται γκρι ή/και βρόχινο νερό μεταξύ του σπιτικού και του ανώτερου χωρικού επιπέδου που είναι ολόκληρη η περιοχή μελέτης.
- Το ανώτερο επίπεδο χωρικής κλίμακας, ολόκληρη η αστική περιοχή μελέτης (development), η οποία αποτελείται από το σύνολο των σπιτικών, πιθανόν διαφορετικών τύπων, όπως επίσης και από τις οδούς και τους δημόσιους ανοιχτούς χώρους που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 11-4 Αναπαράσταση της χωρικής ιεραρχίας ενός υδατικού συστήματος μιας αστικής περιοχής με το UWOT (Πηγή: Rozos, 2009).

11.3.3.2 Χρονική Κλίμακα

Το UWOT έχει ως πρωταρχικό σκοπό την στρατηγικό σχεδιασμό βιώσιμων συστημάτων διαχείρισης αστικού νερού. Για το λόγο αυτό δεν υπεισέρχεται σε σχεδιαστικές, κατασκευαστικές και λεπτομέρειες εφαρμογής. Ως εκ τούτου, συνήθως ο ορισμός ημερήσιου χρονικού βήματος κρίνεται επαρκής, ιδιαίτερα για τη μακροχρόνια εκτίμηση βιωσιμότητας. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα ορισμού μεγαλύτερων, είτε μικρότερων από το ημερήσιο χρονικών βημάτων. Αυτό εξαρτάται και από το σκοπό της μελέτης περίπτωσης. Συνήθως (Rozos, 2009),

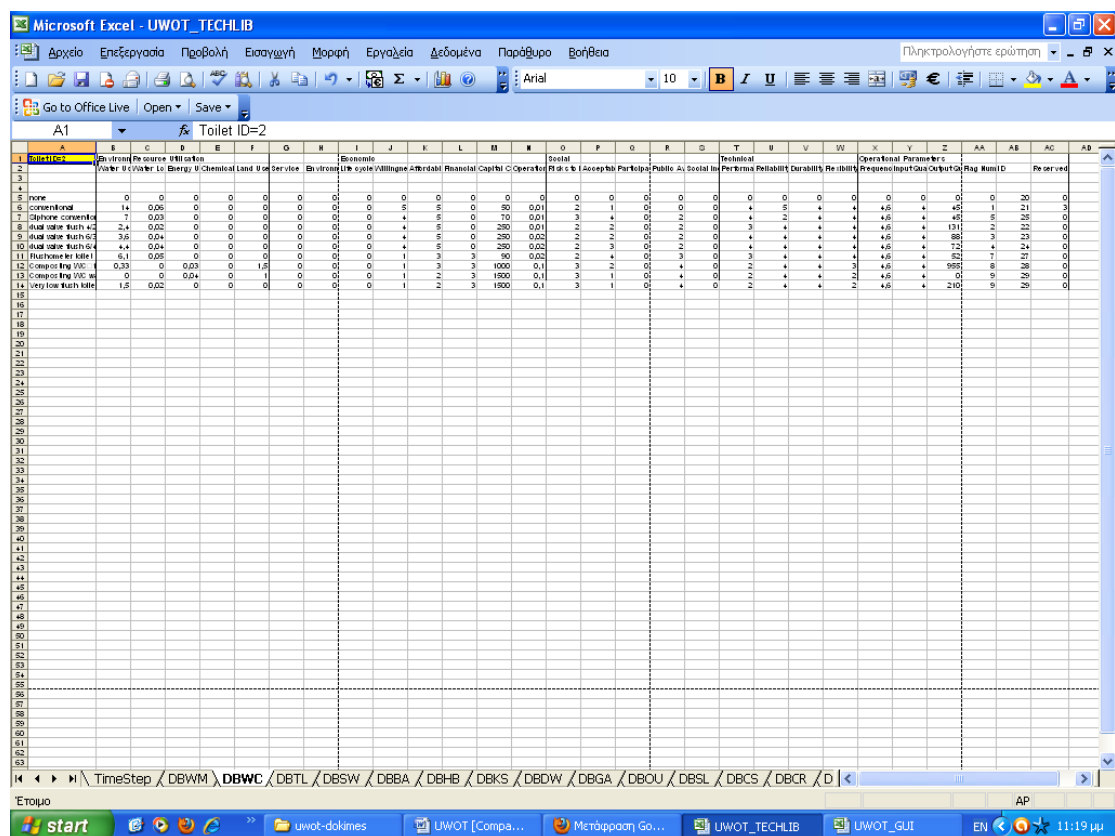
- ημερήσιο χρονικό βήμα είναι κατάλληλο για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό μιας υπό μελέτη περιοχής και για τη διαστασιολόγηση των τοπικών δεξαμενών βρόχινου νερού.
- ωριαίο χρονικό βήμα είναι αναγκαίο για τον εντοπισμό της βέλτιστης χωρητικότητας των τοπικών δεξαμενών γκρι νερού.
- χρειάζεται χρονικό βήμα 10 λεπτών για την προσομοίωση της παραγόμενης απορροής.

11.3.4 Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογικών (Technology Library)

Η Βιβλιοθήκη Τεχνολογικών Εφαρμογών είναι ένα αρχείο Excel όπου είναι συγκεντρωμένα διάφορα τεχνολογικά προϊόντα, διαφόρων χαρακτηριστικών, προκειμένου να διευκολυνθεί η μεταξύ τους σύγκριση και κατά το συνδυασμό τους σε διάφορες κλίμακες. Αφορούν τοπικές και κεντρικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές όμως που πραγματοποιούνται σε κεντρικό επίπεδο είναι μεγάλες σε μέγεθος και κατασκευάζονται επιτόπου (Rozos, 2009).

Κάθε υπολογιστικό φύλλο αντιστοιχεί σε μια τεχνολογική κατηγορία (π.χ. μπανιέρα, πλυντήριο, σύστημα επεξεργασίας γκρι νερού,) κι εκεί παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές υπάρχουσες στην αγορά επιλογές, με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους (Σχήμα 11-5). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι περιβαλλοντικά (π.χ. κατανάλωση νερού ανά χρήση), οικονομικά (π.χ. κόστος κεφαλαίου), κοινωνικά (π.χ. αποδεκτικότητα (acceptability)), τεχνικά (π.χ. αξιοπιστία) και λειτουργικά (π.χ. συχνότητα χρήσης). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι είτε ποσοτικά (π.χ. όγκοι νερού, κόστος), είτε ποιοτικά (π.χ. κίνδυνος για την υγεία). Κάποια χαρακτηριστικά μπορεί να μεταβάλλονται σε σημαντικό βαθμό κατά την εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών σε διαφορετικές κοινωνίες.

Επίσης, στο πρώτο φύλλο της Βιβλιοθήκης καθορίζουμε το χρονικό βήμα (π.χ. $dt=1$ για ημερήσιο βήμα, $dt=1/24$ για ωριαίο βήμα). Με τη μεταβολή του χρονικού βήματος αυτομάτως μεταβάλλεται και η τιμή στη συχνότητα χρήσης (πλήθος χρήσεων/άτομο/χρονικό βήμα) στα χαρακτηριστικά των συσκευών, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη συμβατότητα. Τέλος, στο τελευταίο φύλλο καθορίζουμε το μοναδιαίο κόστος των τοπικών και κεντρικών δεξαμενών και του δικτύου σωληνώσεων.



Σχήμα 11-5 Ενδεικτικό φύλλο του αρχείου UWOT_TECHLIB.xls. Εδώ απεικονίζονται οι τεχνολογικές επιλογές τουαλέτας που διατίθενται στο UWOT.

11.3.5 Το UWOT_GUI.xls (Graphical User Interface)

Στο αρχείο αυτό εισάγουμε τα χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής, επιλέγουμε τις τεχνολογικές εφαρμογές και για κάθε σενάριο λαμβάνουμε (στο αρχείο αυτό) τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων της προσομοίωσης.

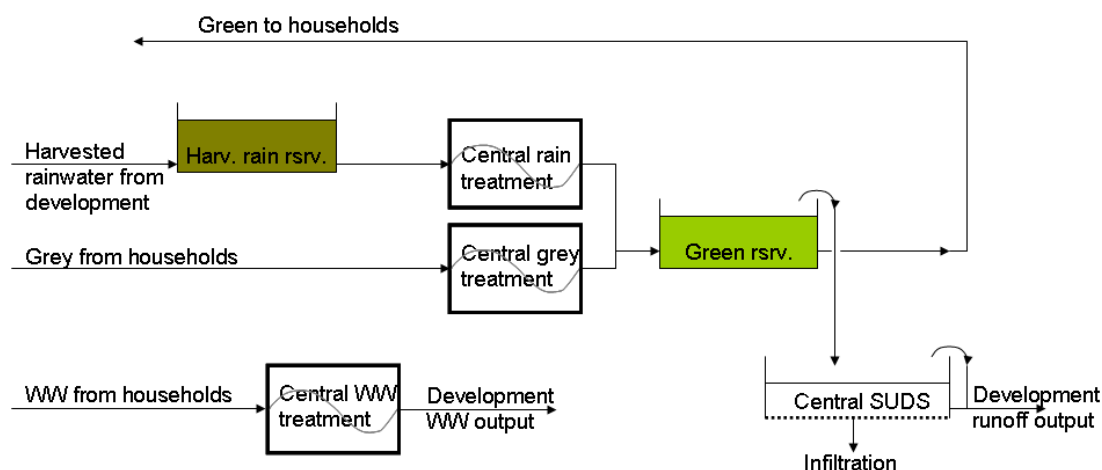
11.3.5.1 Το Φύλλο «Model Parameters»

Το βασικό φύλλο εργασίας είναι το φύλλο «Model Parameters» (Σχήμα 11-7). Εδώ ο χρήστης ορίζει το αστικό υδατικό σύστημα εισάγοντας τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του. Εισάγει τα χαρακτηριστικά μέχρι και έξι διαφορετικών κτιριακών τύπων (households), δηλαδή τις τεχνολογικές συσκευές κατανάλωσης (με επισημάνσεις-τιμές που παραπέμπουν στη «Βιβλιοθήκη»), την κατοίκηση (κάτοικοι ανά κτιριακό τύπο) και τα εμβαδά επιφανειών (αδιαπέρατων επιφανειών, περατών επιφανειών, επιφανειών συλλογής βρόχινου νερού (\leq αδιαπέρατες)). Ακόμα, εισάγονται η χωρητικότητα, οι αρχικοί όγκοι και αρχικές ποιότητες των τοπικών δεξαμενών γκρι και πράσινου νερού (εάν υπάρχουν) και ο όγκος λειτουργίας του φλοτέρ της πράσινης δεξαμενής, δηλαδή ο όγκος μέχρι τον οποίο γεμίζει η τοπική πράσινη δεξαμενή εάν αντλεί νερό από κάποια κεντρική δεξαμενή, προκειμένου να αφήσει διαθέσιμο όγκο για να εισρεύσει νερό και από κάποια ενδεχόμενη, τοπική εφαρμογή (π.χ. συλλογή βρόχινου νερού). Εισάγεται επίσης ο αριθμός των κτιρίων κάθε τύπου κι επιλέγεται για κάθε κτιριακό τύπο αν θα υιοθετηθεί επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού και βρόχινου νερού με τις τιμές: «0»(δεν θα υιοθετηθεί), «1»(θα υιοθετηθεί σε τοπικό

επίπεδο), «2»(θα υιοθετηθεί σε κεντρικό επίπεδο). Αυτή, η τελευταία δυνατότητα, μας επιτρέπει και τη δοκιμή και σύγκριση διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων.

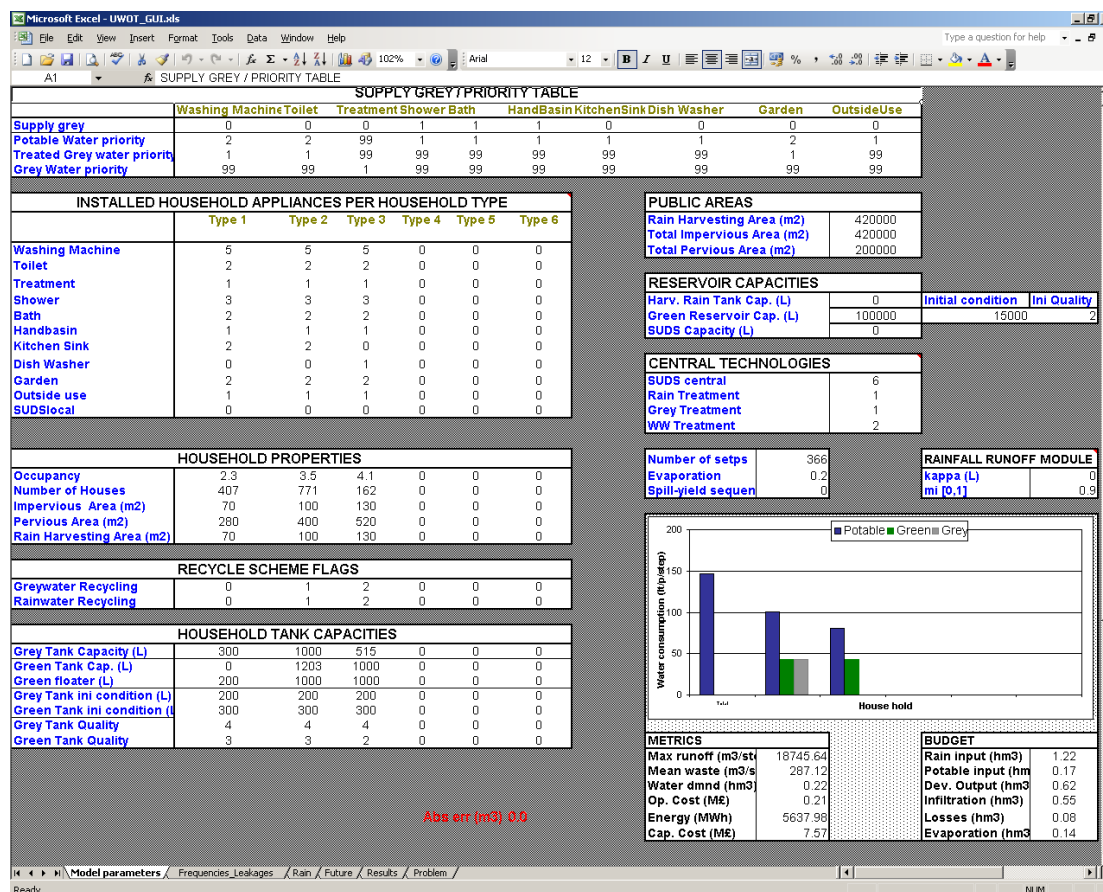
Στο ίδιο φύλλο ορίζουμε τη σειρά προτεραιότητας του νερού που θα χρησιμοποιείται (πόσιμο, πράσινο, γκρι) σε κάθε είδος συσκευής. Οι τιμές «1», «2», «3» αντιστοιχούν στη σειρά προτεραιότητας, ενώ η τιμή «99» απαγορεύει στο σύστημα να χρησιμοποιεί κάποιον τύπο νερού (π.χ. γκρι νερό) για κάποιο είδος συσκευής (π.χ. νιπτήρα). Ορίζουμε επίσης ποιες συσκευές θα παρέχουν στο σύστημα γκρι νερό (τιμές «0» αν δεν παρέχει και «1» εάν παρέχει), σε περίπτωση που θέτουμε επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού (Rozos, 2009).

Εκτός από τα χαρακτηριστικά των κτιριακών τύπων, στο φύλλο «Model Parameters» εισάγονται και τα χαρακτηριστικά των δημόσιων χώρων και των τεχνολογικών λύσεων που εφαρμόζονται σε κεντρικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, εισάγονται τα εμβαδά των επιφανειών (αδιαπέρατων, περατών, επιφανειών συλλογής βρόχινου νερού (\leq αδιαπέρατες)) των δημόσιων χώρων. Τέτοιοι χώροι είναι για παράδειγμα οι οδοί, οι πλατείες, οι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, τα πάρκα, τα δημόσια κτίρια... Εδώ ορίζουμε τις διαστάσεις των κεντρικών δεξαμενών (συλλογής βρόχινου νερού, πράσινου νερού, SUDS (Sustainable Drainage Systems)) και τις τεχνολογίες που εφαρμόζουμε σε κεντρικό επίπεδο (SUDS, επεξεργασία βρόχινου νερού, επεξεργασία γκρι νερού, επεξεργασία μαύρου νερού). Στο Σχήμα 11-6 παρουσιάζεται μια διάταξη των κεντρικών εφαρμογών.



Σχήμα 11-6 Διάταξη υδατικών εφαρμογών σε κεντρικό επίπεδο (Πηγή: Rozos, 2009).

Σημαντικό ακόμα δεδομένο εισαγωγής στο φύλλο αυτό είναι ο καθορισμός του χρόνου προσομοίωσης που γίνεται με την εισαγωγή του πλήθους των χρονικών βημάτων. Θυμίζουμε ότι η χρονική διάρκεια κάθε βήματος έχει εισαχθεί στη Βιβλιοθήκη.



Σχήμα 11-7 Το φύλλο Model Parameters του αρχείου UWOT_GUI.xls (Πηγή: Rozos, 2009).

Όμως έχουμε παράλληλα τη δυνατότητα στο φύλλο αυτό, να βλέπουμε κάποια αποτελέσματα της προσομοίωσης, κάποια αριθμητικά και κάποια γραφικά. Τα αριθμητικά αποτελέσματα είναι: Η μέγιστη παροχή απορροής ($m^3/ster$), η μέση παραγόμενη παροχή μαύρου νερού ($m^3/ster$), η συνολική ζήτηση νερού (hm^3), το λειτουργικό κόστος (ΜΕ), το κόστος κεφαλαίου (ΜΕ), η συνολική απαιτούμενη ενέργεια (MWh), συνολικός όγκος εισερχόμενου νερού βροχής (hm^3), η συνολική ζήτηση πόσιμου νερού (hm^3), ο συνολικός εξερχόμενος από το σύστημα όγκος (hm^3) (απορροή και μαύρο νερό), ο συνολικός όγκος διήθησης (hm^3), ο συνολικός όγκος από απώλειες νερού (hm^3) και ο συνολικός όγκος εξάτμισης (hm^3). Γραφικά απεικονίζεται η ποσότητα κάθε τύπου νερού (πόσιμο, γκρι, πράσινο) που καταναλώνεται (lt/άτομο/χρονικό βήμα) για κάθε κτιριακό τύπο.

11.3.5.2 Άλλα Φύλλα

Στο φύλλο «Frequencies_Leakages» μπορούμε να μεταβάλλουμε τις συχνότητες χρήσης (πλήθος χρήσεων/άτομο/χρονικό βήμα) των τεχνολογικών συσκευών, που είναι ενσωματωμένες στη Βιβλιοθήκη. Οι μεταβολή αυτή μπορεί να οφείλεται στα διαφορετικά κοινωνικά χαρακτηριστικά και στις διαφορετικές συνήθειες των κατοίκων μιας περιοχής ή ενός κτιριακού τύπου, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά πάνω στα οποία βασίστηκαν οι κατασκευαστές του UWOT. Στο φύλλο αυτό μπορούμε ακόμη να εισάγουμε κάποιο ποσοστό υδάτων που καταναλώνονται, λόγω διαφυγών, πέραν των κανονικών ποσοτήτων που ζητούνται από τους καταναλωτές για κάθε συσκευή (π.χ. διαφυγόντα ύδατα από το καζανάκι λόγω βλάβης) (Rozos, 2009).

Στο φύλλο «Rain» ο χρήστης εισάγει τη χρονοσειρά βροχόπτωσης, η διάρκεια της οποίας πρέπει να ισούται με τη διάρκεια της χρονικής διάρκειας της προσομοίωσης.

Στο φύλλο «Future» μπορούμε να εισάγουμε μια αντίστοιχης διάρκειας χρονοσειρά συντελεστών ζήτησης (Demand Coefficients), οι οποίοι χρησιμεύουν στην περίπτωση υιοθέτησης χρονικού βήματος μικρότερο της μίας ημέρας, για να περιγράψουν τις διακυμάνσεις της ζήτησης που συντελούνται κατά τη διάρκειά της. Μπορούν όμως να χρησιμεύσουν και για τις εποχιακές διακυμάνσεις (π.χ. χειμώνας, καλοκαίρι) που πιθανότατα εμφανίζονται όσον αφορά τη ζήτηση.

Στο φύλλο «Results» ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει αναλυτικότερα και συγκεντρωμένα διάφορα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν τις υδατικές ροές του συστήματος. Για παράδειγμα, εδώ παρουσιάζονται η μέση κατανάλωση νερού για κάθε τύπο νερού, για κάθε κτιριακό τύπο (lt/χρονικό βήμα και lt/άτομο/χρονικό βήμα), η ζήτηση νερού και το κόστος κεφαλαίου για κάθε κατηγορία συσκευής κατανάλωσης για κάθε κτιριακό τύπο, διάφορα ποιοτικά και ποσοτικά αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε κτιριακό τύπο. Επίσης, παρουσιάζονται αναλυτικά κάποια στοιχεία, σε κάθε χρονικό βήμα. Τέτοια είναι οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες πόσιμου, γκρι και πράσινου νερού ανά κτιριακό τύπο, οι εναπομένουσες ποσότητες πόσιμου, γκρι και πράσινου νερού στις δεξαμενές κάθε κτιριακού τύπου, το λειτουργικό κόστος, η απορροή και άλλα...

11.3.5.3 Το Φύλλο «Problem»

Στο φύλλο «Problem» παρατίθενται συγκεντρωτικά εικοσιτέσσερα (24) αποτελέσματα της προσομοίωσης, άλλα ποσοτικά και άλλα ποιοτικά. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν δείκτες, οι οποίοι συνδέονται με κριτήρια με τα οποία αξιολογείται η βιωσιμότητα του συστήματος. Τα κριτήρια αυτά χωρίζονται σε τέσσερα βασικά κεφάλαια βιωσιμότητας: Το περιβαλλοντικό, το οικονομικό, το κοινωνικό και το τεχνικό. Στο Σχήμα 11-8 παρατίθενται ομαδοποιημένα τα κριτήρια με τους αντίστοιχους δείκτες.

Τα παραπάνω λοιπόν αποτελέσματα κανονικοποιούνται είτε με μια απλή μέθοδο, είτε μέσω συστημάτων FIS (Fuzzy Inference Systems). Για παράδειγμα με την απλή μέθοδο, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το προτεινόμενο σενάριο διαιρούνται με τις αντίστοιχες τιμές ενός σεναρίου αναφοράς και πολλαπλασιάζονται με συντελεστές βαρύτητας, που θέτουμε σε κάθε χαρακτηριστικό, αναλόγως την έμφαση που θέλουμε να δώσουμε σε καθένα από αυτά τα (24) αποτελέσματα (Rozos, 2009). Έτσι με αυτόν τον τρόπο, συμπεριλαμβάνουμε στην ίδια αξιολόγηση ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια, με εντελώς διαφορετικές μονάδες και έννοιες. Για παράδειγμα, μια οπτική αξιολόγηση από το χρήστη μπορεί να γίνει με τη χρήση αραχνοειδών διαγραμμάτων (spider diagrams), που υπάρχουν στο Excel. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι η αξιολόγηση κατά αυτόν τον τρόπο είναι περισσότερο μια σύγκριση σεναρίων (π.χ. με το σενάριο αναφοράς), παρά ένα συγκεκριμένο αριθμητικό αποτέλεσμα. Το σενάριο αναφοράς μπορεί να είναι για παράδειγμα το σύνηθες-παραδοσιακό μέχρι στιγμής σενάριο και θα περιλαμβάνει συμβατικές συσκευές, κλασικό αποχετευτικό σύστημα λυμάτων και ομβρίων και δεν θα περιλαμβάνει καθόλου σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι ή βρόχινου νερού.

Capital	Criteria	Indicator
Environmental	Resource utilisation	Water usage (litres/use)
		Water loss (litres/use)
		Energy use (KWh/use)
		Chemical use (litres/use)
		Land use (m ²)
Economic	Service provision	Service provision ^a
		Environmental impact
Economic	Environmental impact	Environmental impact ^a
		Life cycle costs
		Life cycle costs ^a
		Willingness to pay
		Willingness to pay ^a
		Affordability
Affordability ^a		
Social	Financial risk exposure	Financial risk exposure ^a
		Capital cost (£)
		Capital cost (£)
		Operational cost (£/l)
		Operational cost (£/litre)
Social	Risks to human health	Risks to human health ^a
		Acceptability
		Acceptability ^a
		Participation/responsibility
		Participation/responsibility ^a
Technical	Public awareness	Public awareness
		Social inclusion
		Social inclusion ^a
		Performance
Technical	Reliability	Performance ^a
		Reliability
		Reliability ^a
		Durability
Technical	Flexibility/adaptability	Durability ^a
		Flexibility/adaptability ^a

^a Οι δείκτες αυτοί δεν έχουν μονάδες μέτρησης, αφού ποσοτικοποιούν ποιοτικές έννοιες. Οι τιμές τους κυμαίνονται μεταξύ 0 και 5, όπου 0 είναι η χειρότερη τιμή και 5 η καλύτερη.

Σημείωση: Υπάρχουν ακόμα οι δείκτες: «Ποιότητα παραγόμενων λυμάτων περιοχής (έπειτα της ενδεχόμενης επεξεργασίας τους)», «Μέση παραγωγή λυμάτων περιοχής», «Μέση παραγωγή απορροής περιοχής».

Σχήμα 11-8 Κεφάλαια, κριτήρια και δείκτες, που χρησιμοποιούνται στο UWOT για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας του συστήματος (Πηγή: *Makropoulos et al., 2008*).

Στο ίδιο φύλλο το UWOT μας δίνει ακόμα τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουμε κάποια στοιχεία του συστήματος, τα οποία εμείς ορίζουμε (π.χ. διαστάσεις δεξαμενών, επιλογή τεχνολογικής συσκευής). Αυτό έχει γίνει εφικτό με τη χρήση Γενετικών Αλγορίθμων GA (Genetic Algorithms) μέσω της εργαλειοθήκης MATLAB's GA Toolbox (*Mathworks, 2005*).

Γίνεται λοιπόν πιο ξεκάθαρο ότι ο χρήστης έχει αρκετές δυνατότητες ώστε να προσεγγίσει το ζήτημα της βιωσιμότητας, του οποίου η λύση δεν είναι μονοσήμαντη. Ο χρήστης επιλέγει ο ίδιος τα κριτήρια και τους δείκτες βιωσιμότητας που τον ενδιαφέρουν, αναλόγως της συγκεκριμένης περιοχής και περίπτωσης που μελετά. Οι δείκτες, είτε ποσοτικοί, είτε ποιοτικοί, τυποποιούνται ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση. Το σενάριο αναφοράς επιλέγεται από το χρήστη. Η αίσθηση κινδύνου του λήπτη αποφάσεων μπορεί να ληφθεί υπόψιν με τη χρήση συντελεστών βαρύτητας (OWA, Ordered Weighted Averaging). Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης εργαλείων βελτιστοποίησης, όπου τα κριτήρια επίσης καθορίζονται από το χρήστη.

11.3.6 Ποιότητα Νερού, Ενέργεια, Κόστος

11.3.6.1 Ποιότητα Νερού

Κάθε τύπος νερού στο UWOT χαρακτηρίζεται από μία τιμή που αντιστοιχεί σε ένα δείκτη ποιότητας. Αυτός ο δείκτης σχετίζεται κατά προσέγγιση με μία μη γραμμική σχέση με το BOD (Biological Oxygen Demand) (Πίνακας 11-4).

Πίνακας 11-4 Σχέση μεταξύ δείκτη ποιότητα και BOD (Πηγή: Rozos, 2009).

Δείκτης Ποιότητας	BOD (mg/l)
1	0
6	40
9	600

Όταν αναμιγνύονται δύο ροές, η ποιότητα του νερού του μίγματος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$q_m \times (V_1 + V_2) = q_1 \times V_1 + q_2 \times V_2, \text{ όπου}$$

q_m : ποιότητα νερού μίγματος,

q_1, q_2 : ποιότητα πρώτης ροής και δεύτερης ροής πριν αυτές αναμιχθούν,

V_1, V_2 : υδατικός όγκος πρώτης ροής και δεύτερης ροής πριν αυτές αναμιχθούν .

Ο δείκτης ποιότητας μας είναι χρήσιμος για να γνωρίζουμε – προσεγγιστικά τουλάχιστον – την ποιότητα νερού που έχουμε σε κάθε ροή. Η πληροφορία αυτή χρειάζεται για παράδειγμα για τον έλεγχο σωστής λειτουργίας κάποιων συσκευών (π.χ. πλυντηρίων ρούχων), οι οποίες έχουν ελάχιστες απαιτήσεις καλής ποιότητας. Στη Βιβλιοθήκη, οι τεχνολογικές λύσεις κεντρικής επεξεργασίας νερού συνοδεύονται από πίνακες, οι οποίοι σε κάθε ποιότητα νερού εισροής (1-9) αντιστοιχούν την ποιότητα εκροής. Στο φύλλο «Results», φαίνονται αναλυτικά, για κάθε χρονικό βήμα, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όσον αφορά την ποιότητα των ροών. Η ποιότητα της εκροής των λυμάτων αποτελεί κι ένα από τα κριτήρια αξιολόγησης της βιωσιμότητας της περιοχής (Rozos, 2009).

11.3.6.2 Ενέργεια

Η απαιτούμενη από το σύστημα ενέργεια που υπολογίζει το UWOT είναι το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται από τις συσκευές κατανάλωσης του σπιτικού και τις κεντρικές εφαρμογές επεξεργασίας νερού. Οι τιμές της απαιτούμενης ενέργειας για κάθε συσκευή υπάρχουν στη Βιβλιοθήκη και έχουν προηγουμένως αντληθεί από τους κατασκευαστές των συσκευών. Συγκεκριμένα για το ντους και το μπάνιο, η ενέργεια υπολογίζεται με τη βοήθεια της θεμελιώδους εξίσωσης θερμομετρίας $Q = m \times c \times \Delta\theta$ (Ohanian, 1989), όπου γνωρίζουμε την ειδική θερμότητα c του νερού ($c = 4,2 \text{ kJ/kg/C}^\circ$), m είναι η μάζα του νερού (kg), δηλαδή η ποσότητα του νερού που εκτιμάται ότι θερμαίνεται μέχρι συγκεκριμένη θερμοκρασία, Q η απαιτούμενη ενέργεια (kJ) για την πραγματοποίηση της θέρμανσης του νερού, $\Delta\theta$ η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού (C°).

Επίσης, το UWOT υπολογίζει και την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί από το μεθάνιο που παράγεται κατά την επεξεργασία των λυμάτων. Γίνεται η υπόθεση, ότι δεν παράγεται μεθάνιο, εάν η τιμή του δείκτη ποιότητας των λυμάτων είναι μικρότερη από 9.

11.3.6.3 Κόστος

Το UWOT υπολογίζει ακόμα το κόστος κεφαλαίου και το λειτουργικό κόστος για την εφαρμογή κάθε σχεδιασμένου σεναρίου του υδατικού συστήματος. Το κόστος κεφαλαίου

υπολογίζεται από το άθροισμα της τιμής αγοράς των επιλεγμένων συσκευών κατανάλωσης νερού των σπιτικών, του κόστους κατασκευής των δεξαμενών και δικτύων και του κόστους των τεχνολογιών κεντρικής επεξεργασίας. Το κόστος των δεξαμενών υπολογίζεται ανάλογα με τη χωρητικότητά τους, των τοπικών δικτύων και λοιπών υδραυλικών εγκαταστάσεων ανάλογα με το μέγεθος του σπιτικού και των κεντρικών δικτύων ανάλογα με τον αριθμό των σπιτιών/κτιρίων.

Το κόστος λειτουργίας για κάθε τοπική συσκευή υπάρχει στη Βιβλιοθήκη και αντλείται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Το λειτουργικό κόστος των τεχνολογικών εφαρμογών κεντρικού επιπέδου εξαρτάται από την ικανότητα επεξεργασίας σε όγκο νερού των μονάδων επεξεργασίας.

11.3.7 Περιορισμοί του UWOT

Οι περιορισμοί του UWOT παρουσιάζονται στον Πίνακα 11-5.

Πίνακας 11-5 Περιορισμοί του UWOT (Πηγή: Rozos, 2009).

Μέγιστο πλήθος χρονικών βημάτων	1826
Μέγιστο πλήθος κτιριακών τύπων	6
Μέγιστο πλήθος τεχνολογικών εφαρμογών κεντρικής επεξεργασίας στη Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών	9
Συσκευές σπιτικού	11 τύποι συσκευών ^a
Κεντρικές τεχνολογικές εφαρμογές	4 τύποι κεντρικών τεχνολογικών εφαρμογών ^b

^a Πλυντήριο ρούχων, Τουαλέτα, Τοπική επεξεργασία, Ντουζιέρα, Μπανιέρα, Νιπτήρας, Νεροχύτης κουζίνας, Πλυντήριο πιάτων, Ποτιστήρι κήπου, Εξωτερική χρήση νερού(π.χ. συντριβάνι, πισίνα), Τοπικά συστήματα αποχέτευσης SUDS.

^b Κεντρικά συστήματα αποχέτευσης SUDS, Επεξεργασία συλλεγόμενου βρόχινου νερού, Επεξεργασία γκρι νερού, Επεξεργασία μαύρου νερού.

11.4 Το Πρόγραμμα Switch CWB

Το πρόγραμμα City Water Balance είναι μέρος του City Water KBS/DSS (Knowledge Base System / Decision Support System). Το City Water KBS/DSS στηρίζεται σε προϋπάρχουσες, σύγχρονες εργασίες, στον τομέα της υποστήριξης αποφάσεων για εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης αστικού νερού (AQUACYCLE, UVQ, UWOT, MULINO, HARMONIT, DAYWATER) (Mackay and Last, 2010). Σε κάποια σημεία όμως αποκλίνει από αυτές. Συγκεκριμένα:

- Σημαντικό βάρος δίνεται στην όσο το δυνατόν ευρύτερη διερεύνηση της εκμετάλλευσης του φυσικού περιβάλλοντος, με σκοπό τη βιωσιμότητα της περιοχής.
- Λαμβάνονται υπόψιν στοιχεία που σχετίζονται με το θεσμικό περιβάλλον και το νομικό πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων. Επίσης, λαμβάνεται υπόψιν η ύπαρξη ιστορικών δεδομένων και η τοποθεσία όπου αυτά βρίσκονται.
- Καλύπτεται ένα μεγάλο εύρος χρονικών και χωρικών κλιμάκων. Η χρήση για παράδειγμα μακρών περιόδων, επιτρέπει την κοστολόγηση - για το χρόνο ζωής - του σχεδιαζόμενου συστήματος, ενώ η χρήση μικρών χρονικών περιόδων επιτρέπει τον λεπτομερή τοπικό σχεδιασμό. Επιτρέπεται ακόμα η εξερεύνηση του μελλοντικά εξελιγμένου τοπίου της πόλης και του διαφοροποιημένου υδατικού συστήματος.

Το City Water Balance (CWB), το οποίο όπως προαναφέραμε αποτελεί μέρος του City Water KBS/DSS, είναι ένα διερευνητικό ομοίωμα για την προσομοίωση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ του νερού, της ενέργειας και των ρύπων σε μια αστική περιοχή. Βασίζεται σε ημερήσιο χρονικό βήμα και μπορεί να διερευνήσει τις μελλοντικές μεταβολές στη ζήτηση νερού και την παραγωγή λυμάτων, λόγω πληθυσμιακών και κλιματικών αλλαγών, με εφαρμογή ενός πλήθους τεχνολογικών επιλογών για τη βελτίωση της διαχείρισης αστικού νερού.

Στο CWB υιοθετείται η ιδέα της κτιριακής μονάδας όπως στο Aquacycle. Έχει όμως δημιουργηθεί μια βιβλιοθήκη με σαράντα εννέα (49) τύπους κτιριολογικών μονάδων, βάσει δεδομένων από την εμπειρία στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η βιβλιοθήκη αυτή είναι φυσικό ότι δύναται να εμπλουτιστεί στο μέλλον. Η ομαδοποίηση γειτονικών κτιριακών μονάδων ίδιου τύπου, διευκολύνει τη χαρτογράφηση της αστικής περιοχής και την αναπαράσταση των υδατικών ροών.

Για κάθε μία από τις αποκεντρωμένες επιλογές υδατικής διαχείρισης στο CWB, έχουν αναπτυχθεί απλοποιημένα λογιστικά φύλλα για την ενέργεια και το χρηματικό κόστος που απαιτούνται στη διάρκεια ζωής του συστήματος και χρησιμοποιούνται ως βιβλιοθήκη. Η απαιτούμενη ενέργεια υπολογίζεται ως το άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνουν οι συσκευές που αποτελούν το σύστημα, του πετρελαίου που καταναλώνεται για τις μεταφορές και την κατασκευή των εγκαταστάσεων και του πετρελαίου που καταναλώνεται για τα λειτουργικά και τα κόστη συντήρησης. Το συνολικό κόστος υπολογίζεται ως το άθροισμα του κόστους κεφαλαίου, του κόστους κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας. Κάθε κόστος που πρόκειται να προκύψει αργότερα μειώνεται σε καθαρές παρούσες αξίες.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα του CWB είναι ότι μπορεί και προσομοιώνει τις εποχικές μεταβολές της κατοίκησης μιας περιοχής. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τουριστικές περιοχές, όπου μεταβάλλονται τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια του έτους.

Πέντε είναι οι εκροές της προσομοίωσης, που αποτελούν τους βασικούς δείκτες, που περιγράφουν τις συνθήκες ενός επιλεγμένου υδατικού συστήματος σε μια γειτονιά ή σε μια πόλη. Αυτοί είναι: Το ποσοστό ζήτηση/παροχή νερού, η παραγωγή λυμάτων, η ποιότητα του νερού, η δαπανώμενη ενέργεια κατά το χρόνο ζωής, το χρηματικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής (*Mackay and Last, 2010*).

11.5 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο ετούτο γίνεται μια αναφορά σε κάποια προγράμματα προσομοίωσης αστικών υδατικών συστημάτων. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται συνοπτικά τα προγράμματα Aquacycle, UVQ (Urban Volume and Quality), UWOT (Urban Water Optionnering Tool) και Switch CWB (City Water Balance).

Σε όλα τα προγράμματα μπορεί να εισαχθεί χρονικό βήμα της επιλογής του χρήστη. Το μέγεθος του χρονικού βήματος εξαρτάται μεταξύ άλλων και από το σκοπό της μελέτης. Για παράδειγμα για τη διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής και αποθήκευσης βρόχινου νερού θα ήταν αρκετό ένα ημερήσιο χρονικό βήμα, ενώ για τη διαστασιολόγηση των

σωλήνων του δικτύου απορροής θα απαιτούνταν πιθανότατα ένα αρκετά μικρότερο χρονικό βήμα, για παράδειγμα των 10 λεπτών.

Το πρόγραμμα Aquacycle βασίζεται σε λογισμικό MS Visual Basic. Η προσομοίωση του αστικού συστήματος διαρθρώνεται σε τρία επίπεδα χωρικής κλίμακας: Την κτιριακή μονάδα, το συγκρότημα, που αποτελείται από πολλές κτιριακές μονάδες (του ίδιου τύπου) και τη λεκάνη απορροής (catchment), που αποτελείται από πολλά συγκροτήματα. Τα δεδομένα εισαγωγής χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες που είναι τα δεδομένα ζήτησης νερού εντός του συστήματος, τα κλιματικά δεδομένα και τα φυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών προσομοίωσης. Τα φυσικά αυτά χαρακτηριστικά εισάγονται με παραμέτρους μέτρησης (π.χ. αριθμός οικιστικών μονάδων, κατοίκηση, εμβαδόν επιφάνειας στέγης) και παραμέτρους βαθμονόμησης (π.χ. αποθηκευτική ικανότητα δεξαμενών, ποσοστό διήθησης, ποσοστό υδατικών απωλειών).

Το πρόγραμμα UVQ, αποτελεί μία εξελιγμένη μορφή του προγράμματος Aquacycle, βασίζεται επίσης σε λογισμικό MS Visual Basic και καλύπτει κάποιες από τις αδυναμίες του. Κάποιες από τις αδυναμίες του προγράμματος Aquacycle είναι η αδυναμία του να ενσωματώνει κάποιες υδρολογικές διεργασίες όπως η υπερχειλίση των λυμάτων που αποχετεύονται και η αδυναμία προσομοίωσης της ποιότητας του νερού. Το πρόγραμμα UVQ έχει σχεδιαστεί ώστε εκτός από τον υδατικό κύκλο να αναπαριστάται και ο ρυπαντικός κύκλος του νερού σε έναν αστικό χώρο. Επίσης, στο UVQ μπορούν να συνδεθούν και οι ροές των ομβρίων υδάτων με συστήματα υδροδότησης και αποχέτευσης λυμάτων. Μονάδες επεξεργασίας νερού μπορούν να εισαχθούν σε όλα τα επίπεδα χωρικής κλίμακας.

Το λογισμικό του υπολογιστικού προγράμματος προσομοίωσης UWOT αποτελείται από το συνδυασμό των προγραμμάτων Excel και Simulink (που είναι εργαλείο του Matlab), μέσω του λογισμικού «Excel's Visual Basic for Applications». Είναι περισσότερο φιλικό στο μέσο χρήστη, διότι η εισαγωγή δεδομένων, η λήψη αποτελεσμάτων και η άντληση των επιλεγόμενων συσκευών γίνονται εξολοκλήρου σε περιβάλλον Excel. Στο UWOT υπάρχει επίσης η πρόβλεψη χαρακτηρισμού της ποιότητας κάθε υδατικής ροής. Μία βασική διαφοροποίηση του UWOT είναι ότι προσομοιώνεται μία περιοχή εξαρχής ως σύνολο, με διαφορετικούς τύπους κτιρίων και δεν περιορίζεται ώστε να αναλυθεί σε γειτονιές με όμοιους κτιριακούς τύπους. Στο UWOT γίνεται ανάλυση όχι μόνο σε ποσοτικά, αλλά και σε ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως η κοινωνική αποδοχή και ο κίνδυνος για την υγεία.

Το πρόγραμμα City Water Balance στηρίζεται σε προϋπάρχουσες, σύγχρονες εργασίες πάνω σε προγράμματα προσομοίωσης (Aquacycle, UVQ, UWOT, Mulino, Harmonit, Daywater). Ένα βασικό πλεονέκτημα του CWB είναι η δυνατότητα προσομοίωσης και των εποχιακών μεταβολών της κατοίκησης μίας περιοχής, το οποίο είναι πολύ χρήσιμο για τουριστικές περιοχές για παράδειγμα. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται σε πέντε δείκτες που είναι Το ποσοστό ζήτηση/παροχή νερού, η παραγωγή λυμάτων, η ποιότητα του νερού, η δαπανώμενη ενέργεια κατά το χρόνο ζωής και το χρηματικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής.

12

Μελέτη Περίπτωσης για τη Νήσο «Αγκίστρι» (case study)

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται μια εφαρμογή του προγράμματος UWOT σε ένα νησί που βρίσκεται στην Ελλάδα, το Αγκίστρι, με σκοπό την μελέτη εναλλακτικών σεναρίων υδατικής διαχείρισης. Συγκεκριμένα, σκιαγραφούνται τα βασικά χαρακτηριστικά του νησιού όπως γεωγραφικά, πληθυσμιακά, κλιματολογικά, κοινωνικά. Έπειτα, γίνεται προσπάθεια να προσομοιωθεί η τρέχουσα κατάσταση όσον αφορά την υδατική κατανάλωση του νησιού. Κατόπιν, διερευνώνται κάποια εναλλακτικά σενάρια που χρησιμοποιούν συσκευές μειωμένης κατανάλωσης νερού, συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού ή/και βρόχινου νερού, κεντρικά ή αποκεντρωμένα. Τέλος, συγκρίνονται τα σενάρια αυτά με κριτήρια κυρίως ποσοτικά (π.χ. οικονομία, υδατική κατανάλωση), αλλά και ποιοτικά (π.χ. κίνδυνοι για την υγεία, κοινωνική αποδοχή).

12.1 Περιγραφή της Νήσου Αγκίστρι

Το Αγκίστρι είναι ένα ελληνικό νησί που βρίσκεται στον Αργοσαρωνικό Κόλπο, πολύ κοντά στην Αίγινα (Σχήμα 12-1). Συγκεκριμένα, απέχει 22 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά και 3,5 ναυτικά μίλια από την Αίγινα. Διοικητικά ανήκει στο Νομό Πειραιώς και στην Περιφέρεια Αττικής. Με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (ΦΕΚ 87/τ.Α'/2010), από την 1η Ιανουαρίου του 2011, η πρώην κοινότητα Αγκιστρίου αναγνωρίζεται ως δήμος, ο οποίος περιλαμβάνει μαζί με τη νήσο Αγκίστρι και τις κοντινές σε αυτή νησίδες. Η έκτασή του είναι 14 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το μήκος του νησιού είναι 5,5 χλμ. και το πλάτος 3,5 χλμ. Το υψηλότερο σημείο του νησιού έχει υψόμετρο 249 μ. και βρίσκεται στο Κοντάρι (<http://www.agistri.com.gr/climate/>)



Σχήμα 12-1 Γεωγραφική θέση της νήσου «Αγκίστρι» στον Αργοσαρωνικό Κόλπο, (Πηγή: [http://el.wikipedia.org/wiki/Αγκίστρι_\(νησί\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Αγκίστρι_(νησί))).

Στο νησί υπάρχουν τρεις οικισμοί, το Μεγαλοχώρι, η Σκάλα με το Μετόχι και τα Λιμενάρια. Το Μεγαλοχώρι, που ονομάζεται και «Μύλος», βρίσκεται δυτικά της Σκάλας και αποτελεί τη διοικητική πρωτεύουσα του νησιού.

Δύο είναι τα φυσικά λιμάνια στα οποία προσεγγίζουν τα πλοία. Το λιμάνι της Σκάλας και το λιμάνι του Μεγαλοχωρίου. Το νησί έχει καθημερινώς ακτοπλοϊκή σύνδεση με τον Πειραιά. Η διάρκεια του ταξιδιού με ferry boat είναι 2 ώρες ενώ με «Ιπτάμενο δελφίни» 55 λεπτά. Η ακτοπλοϊκή σύνδεση με τον Πειραιά ξεκίνησε το 1960 ενώ μέχρι τότε η χρησιμοποιούνταν καΐκια από/προς την Αίγινα. Την 1η Σεπτεμβρίου 2006 έγιναν τα εγκαίνια του νέου λιμανιού στο Μεγαλοχώρι. Το νέο λιμάνι κατασκευάστηκε για την αποσυμφόρηση του κεντρικού λιμανιού της Σκάλας και την γενικότερη αναβάθμιση του τουρισμού στο νησί. Τα ιπτάμενα δελφίνια της ακτοπλοϊκής σύνδεσης με τον Πειραιά σήμερα προσεγγίζουν το νέο λιμάνι στο Μεγαλοχώρι, ενώ τα «ferry boat» φθάνουν στη Σκάλα [[http://el.wikipedia.org/wiki/Αγκίστρι_\(νησί\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Αγκίστρι_(νησί))]. Η Αίγινα συνδέεται και με τα δυο λιμάνια όλο το χρόνο. Στη Σκάλα υπάρχει πλήθος τουριστικών καταστημάτων, ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια και ταβέρνες. Κατά παράδοση τα κύρια προϊόντα του νησιού είναι ρετσίνα από πεύκο, ελαιόλαδο, σύκα, αμύγδαλα, ρίγανη, κριθάρι και φρούτα. Όμως, τα τελευταία περίπου 40 χρόνια η οικονομία του νησιού στηρίζεται στον τουρισμό.

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ., ή αλλιώς Ε.Σ.Υ.Ε.), ο μόνιμος πληθυσμός του νησιού είναι 886 κάτοικοι. Συγκεκριμένα, το Μεγαλοχώρι έχει 444 μόνιμους κατοίκους, η Σκάλα μαζί με το Μετόχι έχει 338 μόνιμους κατοίκους και τα Λιμενάρια 104. Η κατανομή τους ανά οικισμό παρουσιάζεται στον Πίνακα 12-1.

Πίνακας 12-1 Μόνιμος πληθυσμός νήσου Αγκιστρίου και των οικισμών της (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001).

Κωδικοί Ε.Σ.Υ.Ε.			
A46100	00	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	886
A46101	00	Κ.Δ.Αγκιστρίου	886
	01	Μεγαλοχώρι,το (τ.Αγκίστριον,το)	444
	02	Λιμενάρια,τα	104
	03	Σκάλα,η	338

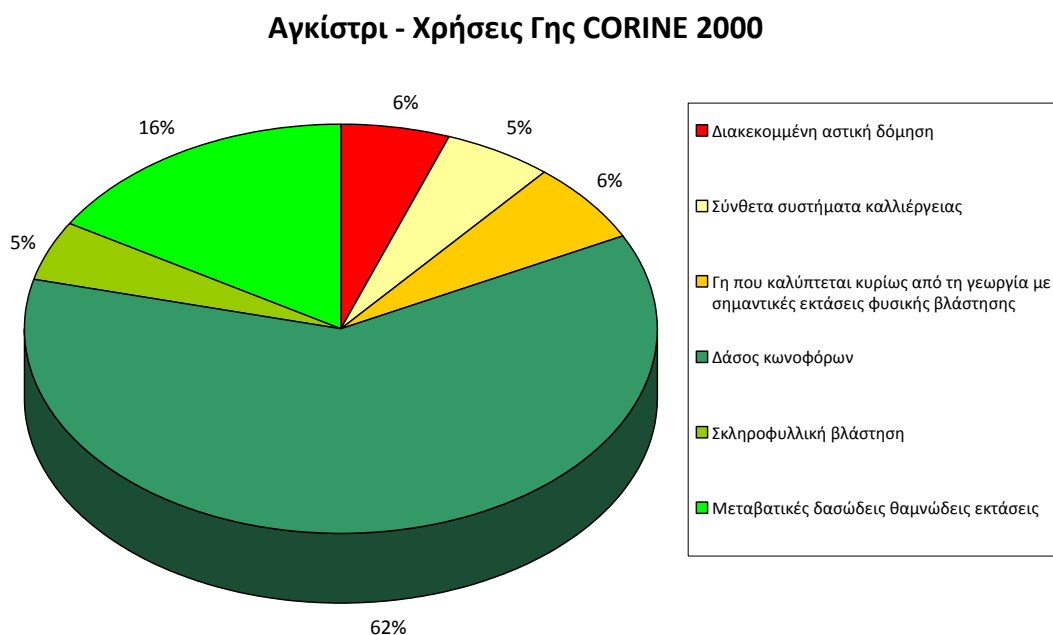
12.1.1 Κλίμα

Το κλίμα του Αγκιστρίου είναι εύκρατο μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από μικρά ετήσια ύψη βροχής, ξηρά καλοκαίρια, μεγάλη ηλιοφάνεια και ήπιους χειμώνες. Στο νησί δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός και γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά ο μετεωρολογικός σταθμός της Αίγινας της Ε.Μ.Υ. και συμπληρωματικά του Πόρου Τροιζηνίας του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, για την άντληση μετεωρολογικών δεδομένων. Σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της Αίγινας για την περίοδο 1974 – 1997, η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 19,4 °C, με μέγιστη κι ελάχιστη μετρημένη θερμοκρασία να είναι 41,2 °C και -1 °C αντίστοιχα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται στα 380 mm. Ως περισσότερο υγρός μήνας παρουσιάζεται ο Δεκέμβριος, ενώ ο πιο ξηρός μήνας φαίνεται να είναι ο Ιούλιος.

12.1.2 Χρήσεις Γης

Το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού καλύπτεται από δάση κωνοφόρων, θάμνους και κάποιους άλλους τύπους φυσικής βλάστησης, που συνολικά καλύπτουν πάνω από το 80% της συνολικής έκτασης του νησιού. Η καλλιεργήσιμη γη είναι αρκετά περιορισμένη, όπως περιορισμένες είναι και οι αστικές περιοχές, οι οποίες αποτελούν τους τρεις βασικούς οικισμούς του νησιού. Στο Σχήμα 12-2 και στον Πίνακα 12-2 παρουσιάζεται το μέγεθος των εκτάσεων για κάθε χρήση της γης, σε ποσοστό, κατά CORINE, σε km² κατά την Εθνική

Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος, αντιστοίχως. Η κατανομή στο χώρο των χρήσεων γης κατά CORINE φαίνεται στο χάρτη στο Σχήμα 12-3. Όπως φαίνεται στο χάρτη, έχουν συμπεριληφθεί οι βασικοί οικισμοί Μεγαλοχώρι και Σκάλα με το Μετόχι στις αστικές περιοχές του νησιού, στο βόρειο κομμάτι, ενώ έχει παραληφθεί ο οικισμός Λιμενάρια στο νότιο κομμάτι, πιθανώς λόγω του μικρού μεγέθους του (ΕΜΠ, 2010). Η γεωγραφική τοποθεσία των οικισμών του Αγκιστρίου φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 12-4.



Σχήμα 12-2 Κατανομή χρήσεων γης Αγκιστρίου – CORINE 2000 (Πηγή: ΕΜΠ, 2010).

12.1.3 Προστασία Περιοχών

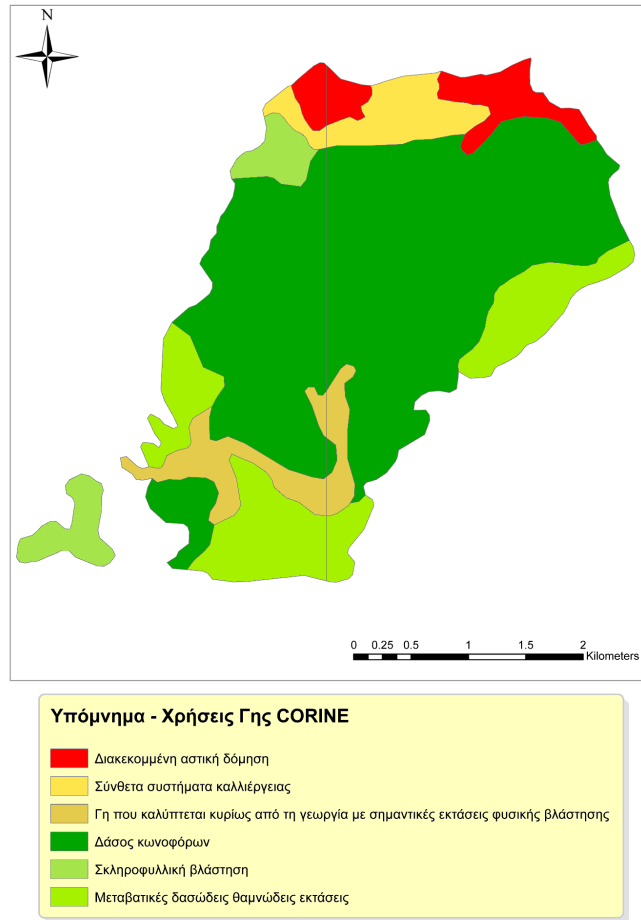
Το Αγκίστρι δεν ανήκει σε προστατευόμενες περιοχές διεθνούς σημασίας, όπως ορίζονται από το δίκτυο NATURA 2000 (ΦΥΣΗ 2000) σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία 92/43 για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων, της άγριας πανίδας και αυτοφυούς χλωρίδας. Ολόκληρη όμως η έκταση του Αγκιστρίου είναι χαρακτηρισμένη ως βιότοπος CORINE. Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα CORINE-Biotopes έχει ως στόχο την καταγραφή σημαντικών βιοτόπων στην Ευρώπη. Στα πλαίσια του προγράμματος αυτού έχει δημιουργηθεί βάση δεδομένων περίπου 7.740 τοποθεσιών Κοινοτικής σημασίας σχετικά με την προστασία της φύσης.

Το μεγαλύτερο μέρος του Αγκιστρίου έχει κηρυχθεί ως Καταφύγιο Άγριας Ζωής. Σύμφωνα με τη νομοθεσία στις περιοχές αυτές απαγορεύεται το κυνήγι κάθε ζώου και η καταστροφή κάθε είδους ζώνης με φυσική βλάστηση, των φυτοφρακτών, ή αμμοληψία, η αποστράγγιση και αποξήρανση ελωδών εκτάσεων και η ένταξη έκτασης καταφυγίου άγριας ζωής σε πολεοδομικό ή ρυμοτομικό σχεδιασμό. Στις περιοχές αυτές απαγορεύεται επίσης η ρύπανση των υδατικών πόρων (ΕΜΠ, 2010).

Κεφάλαιο 12: Μελέτη Περίπτωσης για τη Νήσο «Αγκίστρι»

Πίνακας 12-2 Χρήσεις Γης Κοινότητας Αγκιστρίου (Πηγή: ΕΜΠ, 2010).

Γεωγραφικά Διαμερίσματα και νομοί	Σύνολο εκτάσεων (km ²)	ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ						ΔΑΣΗ ΗΜΙ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ				ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΝΕΡΑ			ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				
		Αρόσιμη γη	Μόνιμες καλλιέργειες	Βοσκότοποι – Μεταβατικές δασώδεις / θαμνώδεις εκτάσεις	Βοσκότοποι - Συνδυασμοί θαμνώδους και / ή πώδους βλάστησης	Βοσκότοποι - Εκτάσεις με αραχή ή καθόλου βλάστηση	Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	Δάση	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	Συνδυασμοί θαμνώδους και / ή πώδους βλάστησης	Εκτάσεις με αραχή ή καθόλου βλάστηση	Χερσαία ύδατα	Εσωτερικές υγρές ζώνες	Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	Αστική οικοδόμηση	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	Δίκτυα συγκοινωνιών	Ορυχεία, χώροι απορριψής απορριμμάτων και εργοτάξια	Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου, χώροι αθλητικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων
Κ. ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	13,5	0	0,6	0	0,4	0	0,6	9,2	0,1	2,2	0	0	0	0,1	0,4	0	0	0	0



Σχήμα 12-3 Χάρτης χρήσεων γης Αγκιστριού – CORINE 2000 (Πηγή: ΕΜΠ, 2010).



Σχήμα 12-4 Δορυφορική φωτογραφία της νήσου «Αγκίστρι» με τους οικισμούς του (Πηγή: Google Earth).

12.1.4 Ύδρευση

Η Κοινότητα του Αγκιστρίου βρίσκεται εκτός αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ, υδρεύεται όμως με νερό της ΕΥΔΑΠ το οποίο μεταφέρεται με υδροφόρα πλοία στο νησί. Στη συνέχεια η Κοινότητα διοχετεύει το νερό μέσω του δικτύου ύδρευσής της, χωρίς όμως η ΕΥΔΑΠ να συμμετέχει στη λειτουργία του.

Συνολικά στην Κοινότητα υπάρχουν 3 δεξαμενές αποθήκευσης νερού, συνολικής χωρητικότητας περίπου 2.000 m³, τις κεντρικές δεξαμενές στο Μετόχι, τον μικρό οικισμό πάνω από τη Σκάλα, και μια μικρή δεξαμενή στον οικισμό Λιμενάρια στο νότιο μέρος του νησιού, χωρητικότητας περίπου 200 m³. Το νερό της ΕΥΔΑΠ που μεταφέρεται μέσω των υδροφόρων πλοίων παραλαμβάνεται στο λιμάνι της Σκάλας, από όπου μεταφέρεται υπό πίεση με σύστημα σωληνώσεων στις κεντρικές δεξαμενές στο Μετόχι. Από τις κεντρικές δεξαμενές το νερό διοχετεύεται στο υπόλοιπο δίκτυο ύδρευσης, καθώς και στη δεξαμενή στα Λιμενάρια, όπου λειτουργεί αυτόνομο δίκτυο ύδρευσης. Η ποσότητα νερού που παραλαμβάνεται από την υδροφόρα δεν ελέγχεται, καθώς δεν υπάρχει παροχόμετρο στο σημείο παραλαβής στη Σκάλα που να μετράει την πραγματική ποσότητα νερού που τελικά παραδίδεται. Σύμφωνα με την Κοινότητα υπήρχε μέχρι πρόσφατα μετρητής παροχής, ο οποίος όμως έσπασε λόγω αυξημένης πίεσης. Σύμφωνα με την Κοινότητα, το κυρίως δίκτυο ύδρευσης του νησιού, το οποίο είναι ενιαίο για τους οικισμούς Σκάλα, Μετόχι και Μεγαλοχώρι, βρίσκεται σε καλή κατάσταση, καθώς πραγματοποιήθηκε πρόσφατα αντικατάσταση του μεγαλύτερου τμήματός του.

Σύμφωνα με την Κοινότητα, πριν από περίπου 20 χρόνια είχαν γίνει προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί νερό γεωτρήσεων για την μερική ύδρευση του νησιού, αλλά αυτές απέτυχαν καθώς το νερό αυτό έγινε υφάλμυρο μετά την πάροδο σχετικά μικρού χρονικού διαστήματος. Παλαιότερα επίσης, ενώ οι κάτοικοι του νησιού χρησιμοποιούσαν στέρνες (δεξαμενές) για τη συλλογή βρόχινου νερού κατά τους χειμερινούς, υγρούς μήνες, σήμερα αυτή η χρήση των στερνών έχει πλέον εγκαταλειφτεί εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις παρά το γεγονός ότι τα πιο πολλά σπίτια διαθέτουν κατασκευές αποθήκευσης νερού. Η πλειοψηφία των στερνών σήμερα χρησιμοποιείται από τους κατοίκους και ειδικά από τις επιχειρήσεις για την αποθήκευση νερού του δικτύου ύδρευσης σε περίπτωση βλάβης και διακοπής λειτουργίας του δικτύου. Επίσης υπάρχουν στο νησί κάποια ιδιωτικά πηγάδια, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις είναι συνδεδεμένα με καζανάκια *EMΠ (2010)*.

12.1.5 Υδατική Κατανάλωση

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Κοινότητας, η ετήσια υδατική κατανάλωση του νησιού – και συγκεκριμένα για το έτος 2009 – είναι περίπου 140000 m³/έτος. Το χειμώνα η ημερήσια υδατική κατανάλωση υπολογίζεται 150 - 250 m³/ημέρα, ενώ το καλοκαίρι η ημερήσια κατανάλωση νερού κυμαίνεται γύρω στα 500 – 900 m³/ημέρα. Σύμφωνα με την Κοινότητα η ημερήσια κατανάλωση, κατά την τουριστική περίοδο αιχμής, μπορεί να ανέλθει μέχρι και τα 1200 m³/ημέρα.

Στην παρούσα μελέτη θα γίνει εστίαση στην τιμολογημένη υδατική κατανάλωση και όχι στη συνολική κατανάλωση, η οποία συμπεριλαμβάνει επιπρόσθετες ποσότητες νερού που περιγράφονται παρακάτω. Η τιμολογημένη υδατική κατανάλωση του νησιού τα έτη 2008, 2009, σύμφωνα με την υπηρεσία ύδρευσης της κοινότητας Αγκιστρίου (με στοιχεία της

εταιρείας μηχανογράφησης), παρουσιάζεται στον Πίνακα 12-3. Η κατανάλωση αναλύεται ανά δίμηνο και ανά οικισμό.

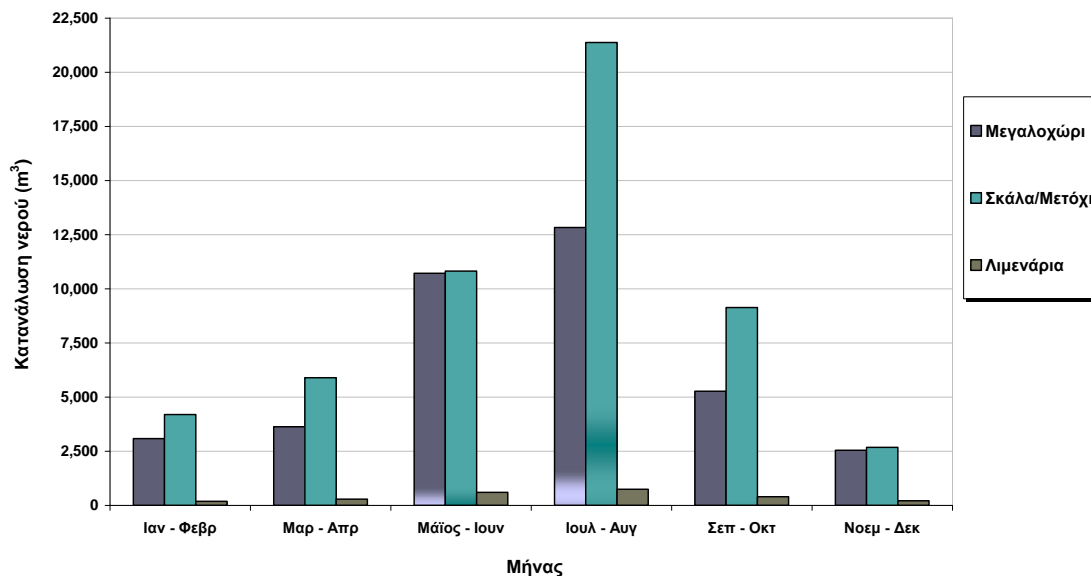
Πίνακας 12-3 Υδατική κατανάλωση νήσου Αγκιστρίου, για τα έτη 2008, 2009
(Πηγή: Υπηρεσία ύδρευσης κοινότητας Αγκιστρίου).

		Μεγαλοχώρι (m ³)	Σκάλα (m ³)	Λιμενάρια (m ³)	Υδατική κατανάλωση νήσου (m ³)
Jan-Feb	2008	3.527	2.729	144	6.400
Mar-Apr	2008	4.028	4.871	191	9.090
May-June	2008	13.114	10.672	370	24.156
July- August	2008	13.566	22.967	568	37.101
Sep-Oct	2008	5.278	8.466	241	13.985
Nov-Dec	2008	2.574	2.767	152	5.493
Σύνολο έτους 2008		42.087	52.472	1.666	96.225
Jan-Feb	2009	2.636	5.651	219	8.506
Mar-Apr	2009	3.228	6.912	379	10.519
May-June	2009	8.313	10.956	821	20.090
July- August	2009	12.095	19.779	921	32.795
Sep-Oct	2009	5.264	9.792	554	15.610
Nov-Dec	2009	2.512	2.589	268	5.369
Σύνολο έτους 2009		34.048	55.679	3.162	92.889

Στο Σχήμα 12-5 παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση της μέσης τιμής της τιμολογημένης υδατικής κατανάλωσης των ετών 2008, 2009, ανά δίμηνο και ανά οικισμό. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι η υδατική κατανάλωση παρουσιάζει έντονη εποχιακή διακύμανση λόγω της τουριστικής ανάπτυξης στην οποία βασίζεται η οικονομία του νησιού, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται πολύ έντονα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου σημειώνεται μεγάλη αύξηση στην προσέλευση τουριστών και εστιάζεται κυρίως στον οικισμό της Σκάλας, όπου βρίσκονται οι περισσότερες ξενοδοχειακές μονάδες. Στο Μεγαλοχώρι διαμένουν κατά κύριο λόγο μόνιμοι κάτοικοι του νησιού, δεν είναι τόσο αναπτυγμένος τουριστικά οικισμός, οπότε και δεν εμφανίζεται τόσο έντονη εποχιακή διακύμανση στη ζήτηση νερού.

Τα στοιχεία αυτά κατανάλωσης, όπως προαναφέρθηκε, προκύπτουν από την εταιρία μηχανογράφησης, δηλαδή από τις τιμολογημένες-μετρημένες καταναλώσεις αστικού νερού για τους 3 οικισμούς του νησιού που υδρεύονται μέσω του κεντρικού δικτύου του νησιού. Όμως αυτά διαφέρουν από τα στοιχεία που προκύπτουν από τα μηνιαία τιμολόγια της ΕΥΔΑΠ, τα οποία αναφέρονται στη συνολική κατανάλωση νερού του νησιού (για το 2008), όπως επίσης διαφέρουν και από τα στοιχεία που προκύπτουν από τα τιμολόγια της

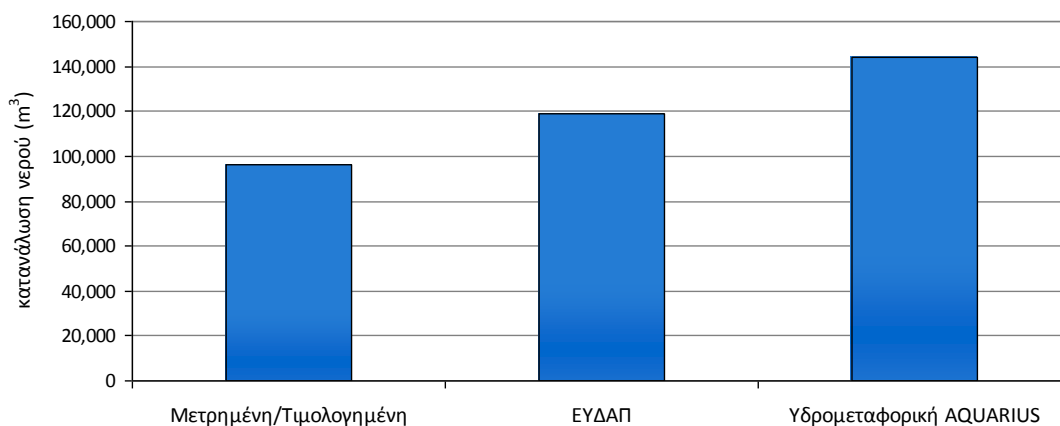
υδρομεταφορικής εταιρείας AQUARIUS, η οποία προμηθεύει το Αγκίστρι με το πόσιμο νερό της ΕΥΔΑΠ.



Σχήμα 12-5 Μέση τιμολογημένη κατανάλωση αστικού νερού ανά οικισμό για τα έτη 2008, 2009, (Πηγή: ΕΜΠ, 2010).

Στο Σχήμα 12-6 παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση νερού στο Αγκίστρι κατά το 2008 σύμφωνα με τις τρεις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή στοιχείων. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τελικά νούμερα ετήσιας κατανάλωσης, που φτάνει το 50% ανάμεσα στην τιμολογημένη κατανάλωση και την χρωμαμένη ποσότητα νερού από την υδρομεταφορική εταιρεία.

Ετήσια κατανάλωση νερού (m³) - 2008



Σχήμα 12-6 Ετήσια κατανάλωση νερού της νήσου Αγκίστρι (2008), από 3 πηγές (Πηγή: ΕΜΠ, 2010).

Η διαφορά ανάμεσα στην τιμολογημένη οικιακή κατανάλωση και το συνολικό νερό που καταναλώνεται στο νησί οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν μη τιμολογημένες χρήσεις, περιπτώσεις δηλαδή που γίνεται δωρεάν διάθεση νερού, καθώς και στις απώλειες του δικτύου διανομής. Οι πιο σημαντικές μη τιμολογημένες χρήσεις περιλαμβάνουν την υδροδότηση σχολείων και κοινοτικών κτιρίων, την πλήρωση των δασικών δεξαμενών που

χρησιμοποιούνται για πυρόσβεση, την άρδευση κοινοτικών πάρκων και δημόσιου πράσινου. Δυστυχώς σύμφωνα με την κοινότητα δεν υπάρχουν στοιχεία και μετρήσεις για την μη τιμολογημένη κατανάλωση νερού, έτσι ώστε να μπορούσαν να εκτιμηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι πραγματικές απώλειες του δικτύου. Σύμφωνα πάντως με την Κοινότητα το δίκτυο ύδρευσης του νησιού βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση, κατά συνέπεια δεν αναμένονται υψηλές απώλειες νερού (θα μπορούσαν να εκτιμηθούν γύρω στο 20 - 25% της συνολικής τιμολογημένης κατανάλωσης) (ΕΜΠ, 2010).

12.1.5.1 Αρδευτική Κατανάλωση

Οι θεωρητικές αρδευτικές ανάγκες του νησιού, στο διαχειριστικό σχέδιο της Αττικής, υπολογίστηκαν περίπου 9510 m³ ανά έτος. Οι πραγματικές ανάγκες σε αρδευτικό νερό, λαμβάνοντας υπόψιν το ποσοστό ενεργού βροχόπτωσης με βάση το σταθμό της ΕΜΥ στο Μαραθώνα υπολογίζονται 6710 m³ ανά έτος, ενώ αν συνυπολογιστούν και οι απώλειες που προκύπτουν από τη μέθοδο άρδευσης, οι πραγματικές ανάγκες αρδευτικού νερού υπολογίζονται 9417 m³ ανά έτος.

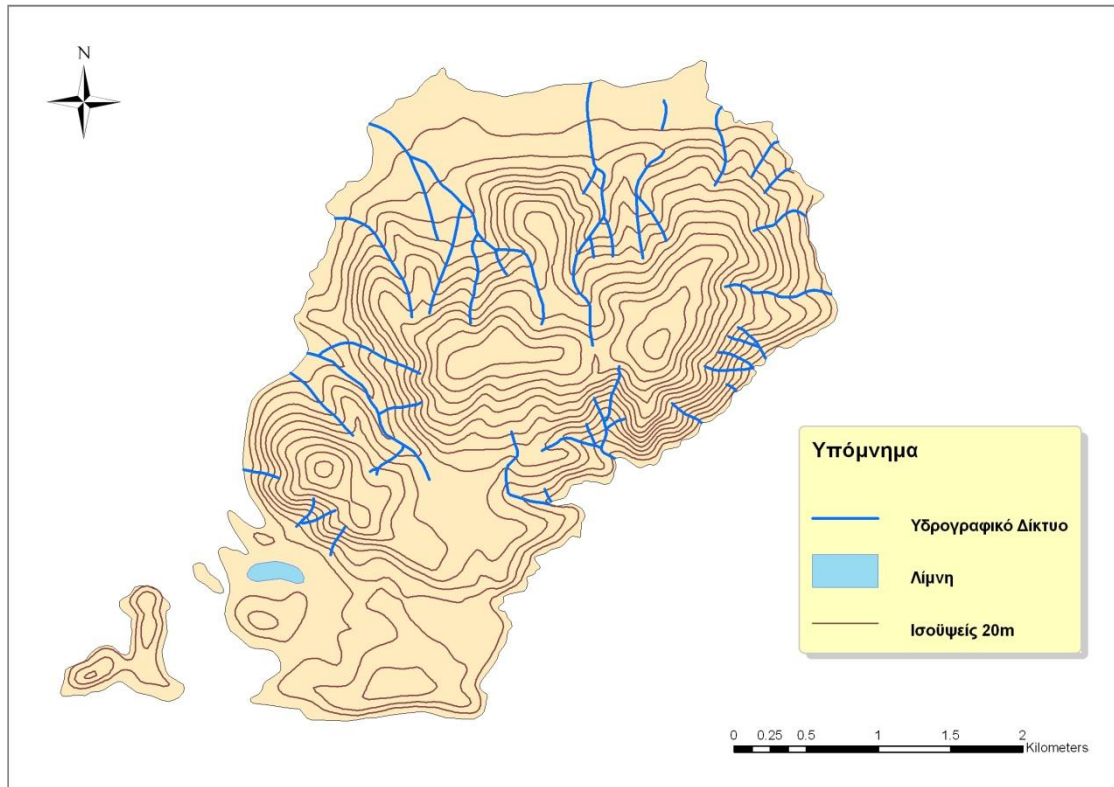
Όσον αφορά όμως τις πραγματικές καταναλώσεις για άρδευση δεν ήταν δυνατόν να βρεθούν από την κοινότητα αναλυτικά στοιχεία καθώς σήμερα καλλιεργούνται πλέον πολύ λίγες εκτάσεις στο νησί. Οι περισσότερες καλλιέργειες, οι οποίες συγκεντρώνονται στο νοτιοδυτικό μέρος του νησιού που παρουσιάζει αυξημένη εδαφική υγρασία, είναι ξερικές και έχουν αρκετά μειωμένες απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό. Παραδοσιακά, τα κύρια γεωργικά προϊόντα του νησιού περιλαμβάνουν ρετσίνα από πεύκο, ελαιόλαδο, σύκα, αμύγδαλα, ρίγανη, κριθάρι, φρούτα, κολοκύθια και αμπέλια. Εκτιμάται από την κοινότητα ότι το αρδευτικό νερό που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών και προέρχεται από ιδιωτικά πηγάδια, ανέρχεται περίπου σε 5000 m³ το έτος. Το αρδευτικό νερό που χρησιμοποιείται για την άρδευση ιδιωτικών οικιακών κήπων συμπεριλαμβάνεται στην τιμολογημένη αστική κατανάλωση νερού (ΕΜΠ, 2010).

12.1.6 Αποχέτευση

Η Κοινότητα Αγκιστρίου δεν διαθέτει κεντρικές υποδομές αποχέτευσης, δηλαδή δίκτυο αποχέτευσης και μονάδα βιολογικού καθαρισμού, όπως άλλωστε συμβαίνει στους περισσότερους νησιώτικους δήμους και κοινότητες που ανήκουν στην Περιφέρεια Αττικής. Το σύνολο του νησιού αποχετεύεται μέσω βόθρων, απορροφητικών και στεγανών. Σύμφωνα με την Κοινότητα σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται απευθείας ανεξέλεγκτη διάθεση αστικών λυμάτων στη θάλασσα με τις επακόλουθες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα θαλάσσια ύδατα.

12.1.7 Όμβρια

Στο Αγκίστρι δεν υπάρχει δίκτυο ομβρίων και η αποχέτευση των ομβρίων υδάτων πραγματοποιείται μέσω των επιφανειακών ρεμάτων τα οποία καταλήγουν στη θάλασσα. Υπάρχουν 5 βασικά ρέματα στο νησί, το υδρογραφικό δίκτυο του οποίου φαίνεται στο χάρτη στο Σχήμα 12-7. Σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων αντιμετωπίζονται πλημμυρικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα το χειμώνα του 2010 (ΕΜΠ, 2010).



Σχήμα 12-7 Υδρογραφικό δίκτυο Αγκιστρίου (Πηγή: ΕΜΠ, 2010).

12.1.8 Κόστος Νερού

Το κόστος του νερού για την Κοινότητα κατά την περίοδο εκπόνησης της ερευνητικής μελέτης ανέρχεται στα 3 €/m³, που αναλύεται σε:

- 0,60 €/m³ για την αγορά του νερού από την ΕΥΔΑΠ, και
- 2,40 €/m³ για την μεταφορά του νερού

Η τιμή πώλησης του νερού στους καταναλωτές ανέρχεται στα 2,85 €/m³. Το κόστος αυτό κρίνεται ιδιαίτερα υψηλό, αν αναλογιστούμε ότι η τιμή πώλησης του νερού στους καταναλωτές των Αθηνών, συγκεκριμένα στη χαμηλότερη κατηγορία κατανάλωσης της κλιμακωτής χρέωσης της ΕΥΔΑΠ (0 ÷ 5 m³ ανά μήνα), είναι περίπου 0,40 €/m³. Όμως και γενικότερα η μέση τιμή πώλησης του νερού στην Αθήνα από την ΕΥΔΑΠ, το έτος 2009, ήταν αρκετά χαμηλότερη (από τα 2,85 €/m³), 0,74 €/m³, ενώ η μέση τιμή της κύριας κατηγορίας πελατών, αυτή των κοινών καταναλωτών, ήταν 0,80 €/m³ (Ε.ΥΔ.Α.Π., 2010).

Το υψηλό κόστος του νερού στο Αγκίστρι είναι ένας επιπρόσθετος παράγοντας που θεωρείται ότι καθιστά ασύμφορη την καλλιέργεια κι έχει οδηγήσει στην εγκατάλειψη της γεωργίας. Σύμφωνα με την εκτίμηση της Κοινότητας μια αποδεκτή τιμή για τη χρέωση αρδευτικού νερού θα ήταν 1 €/m³ (ΕΜΠ, 2010).

12.2 Προσομοίωση υδατικής κατανάλωσης με το UWOT – Σενάριο 0

Παρακάτω επιχειρούμε να προσομοιώσουμε την τρέχουσα κατάσταση με τη χρήση του λογιστικού προγράμματος προσομοίωσης UWOT, ή αλλιώς να διαμορφώσουμε ένα υπολογιστικό ομοίωμα του συστήματος υδατικής κατανάλωσης, το οποίο να προσεγγίζει το υπάρχων-πραγματικό σύστημα του Αγκιστρίου. Η υδατική κατανάλωση που επιχειρείται να προσομοιωθεί είναι εκείνη που προκύπτει από τις τιμολογημένες μετρημένες καταναλώσεις, χωρίς δηλαδή να συμπεριλαμβάνονται οι μη-τιμολογημένες καταναλώσεις και οι διαρροές του δικτύου, σε χρονική κλίμακα ενός έτους. Η μεθοδολογία και οι παραδοχές που τίθενται είναι οι εξής:

12.2.1 Καθορισμός Ομοιωμάτων και Κτιριακών Τύπων

Διαμορφώνονται ξεχωριστά ομοιώματα για καθένα από τους τρεις οικισμούς (Μεγαλοχώρι, Σκάλα και Λιμενάρια) και γίνεται επίσης διαχωρισμός του έτους σε 2 περιόδους, τη χειμερινή που θεωρούμε εδώ – στην προσπάθειά μας να προσεγγίσουμε την πραγματική κατανάλωση - ότι διαρκεί 10 μήνες, Σεπτέμβριο-Ιούνιο, και τη θερινή, που θεωρούμε εδώ ότι διανύεται τους 2 εναπομείναντες μήνες, Ιούλιο-Αύγουστο. Αυτό γίνεται διότι το Αγκίστρι παρουσιάζει έντονη πληθυσμιακή αύξηση τη θερινή περίοδο, φαίνεται άλλωστε και από τα στοιχεία της υδατικής κατανάλωσης, όμως το UWOT δεν δέχεται μεταβλητό χρονικά πληθυσμό. Είναι προφανές ότι η παραδοχή αυτή δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, αφού ο πληθυσμός αυξάνεται βαθμιαία και όχι απότομα για δύο μόνο μήνες. Η δυσκολία αυτή επιχειρείται να ξεπεραστεί με την παραδοχή ότι το νησί κατοικείται, για τους δύο αυτούς θερινούς μήνες, σε καθημερινή βάση, από το μέγιστο αριθμό ανθρώπων (μόνιμων κατοίκων, παραθεριστών, τουριστών) που μπορούν να κατοικήσουν βάσει των υπάρχοντων υποδομών. Αυτό μάλλον μας οδηγεί σε υπερεκτίμηση της υδατικής κατανάλωσης τη θερινή περίοδο κι έτσι εξισορροπείται η υποεκτιμημένη υδατική κατανάλωση λόγω του υποεκτιμημένου πληθυσμού των περιόδων της άνοιξης και του φθινοπώρου.

Διαμορφώνονται λοιπόν κατ' αυτόν τον τρόπο 6 ομοιώματα UWOT, τα οποία μπορούμε να ονομάσουμε «Μεγαλοχώρι-Χειμώνας», «Μεγαλοχώρι-Καλοκαίρι», «Σκάλα-Χειμώνας», «Σκάλα-Καλοκαίρι», «Λιμενάρια-Χειμώνας», «Λιμενάρια-Καλοκαίρι». Θέτουμε τρεις κτιριακούς τύπους (households): Έναν κτιριακό τύπο που εκπροσωπεί την μέση οικία των μόνιμων κατοίκων, έναν κτιριακό τύπο που εκπροσωπεί την μέση παραθεριστική κατοικία κι έναν κτιριακό τύπο που εκπροσωπεί τη μέση ξενοδοχειακή μονάδα. Την περίοδο του χειμώνα ο αριθμός των παραθεριστών και των τουριστών τίθεται μηδενικός για όλους τους οικισμούς, ενώ στα Λιμενάρια τίθεται μηδενικός αριθμός τουριστών και τη θερινή περίοδο αφού δεν είναι καταγεγραμμένη από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (Ε.Σ.Υ.Ε.) στον οικισμό αυτόν κάποια ξενοδοχειακή μονάδα. Για αναλυτικότερη προσομοίωση θα μπορούσαμε να θέσουμε κι άλλους κτιριακούς τύπους (μέχρι 6 που είναι ο περιορισμός του UWOT), αλλά γενικώς τα μεγέθη είτε μόνιμης, είτε παραθεριστικής κατοικίας, είτε των ξενοδοχείων, δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Θεωρούμε δηλαδή ότι υπάρχει μια σχετική ομοιογένεια των κτιρίων για κάθε χρήση.

12.2.2 Πλήθος Κτιρίων και Μέγεθος Κατοίκησης για κάθε Κτιριακό Τύπο, σε κάθε Οικισμό

Για κάθε κτιριακό τύπο κάθε οικισμού, είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο UWOT του αριθμού των κτιρίων αυτών και της κατοίκησης τους (αριθμός κατοίκων ανά κτίριο). Στον Πίνακα 12-4 δίνεται ο αριθμός κτιρίων που χρησιμοποιούνται για κατοικία ως κύρια χρήση, ως άθροισμα του αριθμού κτιρίων όπου η κατοικία είναι η αποκλειστική χρήση τους και του αριθμού των κτιρίων τα οποία έχουν μικτή χρήση αλλά η κατοικία είναι η κύρια χρήση τους (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2000).

12.2.2.1 Πλήθος Κτιρίων και Κατοίκηση Μόνιμης Κατοικίας

Ο αριθμός όμως των κτιρίων για κατοικία του Πίνακα 12-4 αναφέρεται από κοινού στα κτίρια που χρησιμοποιούνται για μόνιμη κατοικία και σε εκείνα που χρησιμοποιούνται για παραθεριστική κατοικία. Για να ξεχωρίσουμε τον αριθμό των κτιρίων για μόνιμη κατοικία από τον αριθμό των κτιρίων για παραθεριστική κατοικία, χρησιμοποιούμε ένα άλλο στοιχείο που μας δίνεται από την Ε.Σ.Υ.Ε. και αναφέρεται στον συνολικό αριθμό των κύριων κατοικιών (κατοικούμενων και κενών) και στον αριθμό των κατοικιών που κατοικούνται τη στιγμή της απογραφής (Πίνακας 12-5). Η απογραφή αυτή πραγματοποιήθηκε στις 18 Μαρτίου 2001 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001β). Σύμφωνα με αυτήν, καταγράφηκαν 304 κύριες κατοικούμενες κατοικίες και 16 κατοικίες των οποίων το νοικοκυριό απουσίαζε προσωρινά, δηλαδή συνολικά 320 κύριες κατοικίες οι οποίες θεωρούμε ότι κατοικούνται επί μόνιμου βάσεως. Επίσης καταγράφηκαν 310 εξοχικές ή δευτερεύουσες κατοικίες, τις οποίες εμείς θεωρούμε παραθεριστικές. Ακόμα, καταγράφηκαν 125 κατοικίες για ενοικίαση, πώληση, ή άλλο λόγο και 5 κατοικίες μέσα σε συλλογικές κατοικίες. Τις 130 αυτές κατοικίες θεωρούμε ότι συγκαταλέγονται σε ό,τι εμείς θέτουμε ως ξενοδοχεία, είτε δεν υπολογίζουμε καθόλου, αφού ίσως πρόκειται για απούλητα, ή μη χρησιμοποιούμενα ακίνητα. Τέλος, αγνοούμε ως αμελητέα ποσότητα τις 2 μη κανονικές κατοικίες που καταγράφηκαν.

Πίνακας 12-4 Πλήθος κτιρίων για κατοικία.

ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	Αριθμός κτιρίων αποκλειστικής χρήσεως ως κύρια κατοικία (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2000)	Αριθμός κτιρίων για κύρια κατοικία με μικτή χρήση (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2000)	Συνολικός αριθμός κτιρίων για κύρια κατοικία
Κ.Δ.Αγκιστρίου	553	43	596
Μεγαλοχώρι,το (τ.Αγκίστριον,το)	277	16	293
Λιμενάρια,τα	69	3	72
Σκάλα,η	207	24	231

Κρατάμε λοιπόν ως δεδομένα τις 320 μόνιμες κατοικίες και 310 παραθεριστικές κατοικίες που μας κάνουν σύνολο 630 κατοικίες. Έπειτα, κάνουμε την παραδοχή ότι η αναλογία αυτή μόνιμων προς συνολικών κατοικιών (320/630) παραμένει σταθερή και όσον αφορά τον αριθμό των κτιρίων που χρησιμοποιούνται για μόνιμη κατοικία προς το συνολικό αριθμό των κτιρίων που χρησιμοποιούνται για μόνιμη και παραθεριστική κατοικία. Αυτό θα ισχύει με την προϋπόθεση ότι η αναλογία των κατοικιών ανά κτήριο είναι η ίδια για κτίρια μόνιμης και παραθεριστικής κατοικίας. Στην πραγματικότητα, βέβαια, πιθανολογούμε ότι η αναλογία των κτιρίων μόνιμης κατοικίας προς το σύνολο των κτιρίων – μόνιμης και παραθεριστικής - κατοικίας είναι μικρότερη από την αντίστοιχη αναλογία των μόνιμων κατοικιών προς το άθροισμα των μόνιμων και παραθεριστικών κατοικιών, αφού τα κτίρια μόνιμης κατοικίας μάλλον έχουν μεγαλύτερη αναλογία κατοικιών ανά κτήριο, ενώ οι παραθεριστικές κατοικίες συνήθως είναι μονοκατοικίες. Παρά ταύτα, δεν αποκλείεται να προσεγγίζουμε ικανοποιητικά την πραγματικότητα, αφού στο Αγκίστρι η πλειονότητα των κτιρίων και για μόνιμη κατοικία είναι μονοκατοικίες και δευτερευόντως κτίρια δύο κατοικιών (Πίνακας 12-6), τα οποία (κτίρια δύο κατοικιών) δεν αποκλείεται να αποτελούν και αυτά κτίρια παραθεριστικής χρήσεως.

Με δεδομένη λοιπόν την αναλογία του αριθμού των κτιρίων μόνιμης κατοικίας προς το σύνολο αυτών και των παραθεριστικών κτιρίων, αλλά και το συνολικό αριθμό των κτιρίων για κατοικία σε κάθε οικισμό (Πίνακας 12-7), εκτιμούμε τον αριθμό των κτιρίων για μόνιμη κατοικία σε κάθε οικισμό, αποτέλεσμα το οποίο παρουσιάζεται στη στήλη [5] του Πίνακα 12-7. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζεται και η εκτίμηση για την μέση κατοίκηση των κτιρίων μόνιμης κατοικίας για κάθε οικισμό (στήλη 6). Η κατοίκηση προκύπτει διαιρώντας τον πληθυσμό ενός οικισμού (στήλη 1) με τον αριθμό των κτιρίων μόνιμης κατοικίας που εκτιμήθηκαν και παρουσιάζονται στη στήλη 5.

12.2.2.2 Πλήθος Κτιρίων και Κατοίκηση Παραθεριστικής Κατοικίας

Με όμοιο τρόπο, υπολογίζονται ο αριθμός κτιρίων για παραθερισμό και η κατοίκησή τους. Θεωρώντας την αναλογία του πλήθους των παραθεριστικών κατοικιών προς το σύνολο παραθεριστικών και μόνιμων κατοικιών ίση με την αναλογία του πλήθους των κτιρίων παραθεριστικής κατοικίας προς το σύνολο των κτιρίων μόνιμης και παραθεριστικής κατοικίας, γνωρίζοντας παράλληλα το τελευταίο αυτό σύνολο, κάνουμε μια εκτίμηση του πλήθους των κτιρίων παραθεριστικής κατοικίας, για κάθε οικισμό. Το πλήθος αυτό το μειώνουμε κατά έναν αριθμό, ο οποίος αντιστοιχεί σε ένα πλήθος εγκαταλελειμμένων από τους κατόχους κτιρίων παραθερισμού, είτε κτιρίων τα οποία χρησιμοποιούνται αρκετά πιο αραιά από τους τακτικούς παραθεριστές. Το πλήθος αυτό στην εργασία αυτή επιλέγεται κατά την κρίση μας, αφού δεν διαθέτουμε κάποια στοιχεία που μπορούν να μας βοηθήσουν σε αυτό (Στήλη [5], Πίνακας 12-8).

Έπειτα εισάγουμε το εκτιμώμενο πλήθος των παραθεριστών σε επίπεδο κοινότητας. Σύμφωνα με πληροφορίες της Κοινότητας, οι παραθεριστές του νησιού εκτιμώνται περίπου 700. Έτσι, διαιρώντας το πλήθος των παραθεριστών του νησιού με το (μειωμένο) πλήθος των κτιρίων παραθεριστικής κατοικίας προκύπτει η κατοίκηση για τον κτιριακό τύπο παραθερισμού, που έχουμε συμπεριλάβει στο ομοίωμά μας. Την κατοίκηση αυτή τη θεωρούμε ίδια για τον κτιριακό αυτό τύπο σε κάθε οικισμό, οπότε συμπληρωματικά μπορούμε να υπολογίσουμε και το πλήθος των παραθεριστών σε κάθε οικισμό (Πίνακας 12-8).

12.2.2.3 Πλήθος Κτιρίων και Κατοίκηση Ξενοδοχείων

Ο τρίτος κτιριακός τύπος του οποίου επιζητούμε το πλήθος σε κάθε οικισμό και την κατοίκηση του είναι τα ξενοδοχεία. Στον Πίνακα 12-9 δίνεται ο αριθμός των κτιρίων που χρησιμοποιούνται ως ξενοδοχειακές μονάδες ανά οικισμό. Οι αριθμοί αυτοί προκύπτουν από το διαδίκτυο, στον ιστότοπο <http://www.agistri.com.gr/>, που αποτελεί την επίσημη ιστοσελίδα της νήσου Αγκίστρι και θεωρούμε λόγω της τουριστικής ανάπτυξης και επιθυμίας για προβολή ότι είναι περισσότερο αξιόπιστα τα στοιχεία αυτά από τον αριθμό που δίνεται από τους πίνακες της Ε.Σ.Υ.Ε. Άλλωστε, η Ε.Σ.Υ.Ε μας δίνει ένα χαμηλότερο αριθμό για τα ξενοδοχεία (59) (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2000), το οποίο είναι λογικό, αφού από το 2000 μέχρι σήμερα έχουν αυξηθεί οι τουριστικές μονάδες, καθώς τη δεκαετία που πέρασε παρέμεινε έντονο το ενδιαφέρον για ανάπτυξη τουριστικών δραστηριοτήτων.

Έπειτα, αναζητούμε διεξοδικά από τον ιστότοπο κάθε ξενοδοχείου, είτε από άλλες ιστοσελίδες, το μέγεθός του, αναφορικά με τον αριθμό των κλινών που διαθέτει. Αν δεν παρέχεται ο αριθμός κλινών ως πληροφορία αλλά ο αριθμός των δωματίων, τότε υπολογίζουμε 2 κλίνες ανά δωμάτιο. Έτσι, βρίσκουμε ότι το Μεγαλοχώρι διαθέτει 352 κλίνες και ότι η Σκάλα διαθέτει 1486 κλίνες. Στη συνέχεια κάνουμε την παραδοχή ότι υπάρχει πληρότητα για όλες τις κλίνες καθ' όλη την περίοδο του καλοκαιριού, που όπως προαναφέραμε θεωρούμε ότι διαρκεί Ιούλιο – Αύγουστο. Με αυτήν την παραδοχή θεωρούμε έπειτα ότι το πλήθος των κλινών συμπίπτει με το πλήθος των τουριστών. Έτσι, μπορούμε πλέον διαιρώντας το πλήθος των τουριστών με το πλήθος των ξενοδοχείων να υπολογίσουμε την κατοίκηση των ξενοδοχείων για κάθε οικισμό (Πίνακας 12-9).

Για να γίνει πιο εύκολη η κατανόηση των πινάκων, δίνονται κάποιοι από τους ορισμούς των όρων, όπως χρησιμοποιούνται από την ΕΛ.ΣΤΑΤ. (<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/>) και παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

Κεφάλαιο 12: Μελέτη Περίπτωσης για τη Νήσο «Αγκίστρι»

Πίνακας 12-5 Κανονικές κατοικίες, κατοικούμενες και κενές (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001β).

		Σύνολο κατοικιών	Κανονικές κατοικίες						Μη κανονικές κατοικίες	Κανονικές κατοικίες μέσα σε συλλογικές κατοικίες	
			Σύνολο	Κύριες Κατοικούμενες	Κύριες Κατοικούμενες αλλά το νοικοκυριό απουσιάζει προσωρινά	Κενές		Φορέας ιδιοκτησίας			
						εξοχικές ή δευτερεύουσες	για ενοικίαση, πώληση, άλλο λόγο	Ιδιώτες και ΝΠΙΔ(2)			Δημόσιο και ΝΠΔΔ(3)
A4610000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	762	755	304	16	310	125	753	2	2	5

Πίνακας 12-6 Πλήθος κτιρίων κατοικίας με βάση τον αριθμό των κατοικιών που περικλείουν (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2000β).

	Αποκλειστική χρήση για στέγαση νοικοκυριών με αριθμό κανονικών κατοικιών					Μικτή χρήση κυρίως για στέγαση νοικοκυριών με αριθμό κανονικών κατοικιών				
	Σύνολο	1	2	3 - 5	6 - 15	Σύνολο	1	2	3 - 5	6 - 15
Κοινότητα Αγκιστρίου	553	380	146	18	9	43	30	11	1	1
Κ.Δ.Αγκιστρίου	553	380	146	18	9	43	30	11	1	1

Πίνακας 12-7 Εκτίμηση πλήθους κτιρίων μόνιμης κατοικίας και κατοίκηση, ανά οικισμό.

ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	Μόνιμος πληθυσμός	Αριθμός κτιρίων για κατοικία ως κύρια χρήση	Αριθμός κανονικών κύριων κατοικιών, που κατοικούνται κατά την απογραφή	Συνολικός Αριθμός κανονικών κύριων κατοικιών: Κατοικούμενων (κατά την απογραφή) & Κενών-δευτερευουσών-εξοχικών	Αριθμός κτιρίων μόνιμης κατοικίας	occupansy
	[1]	[2]	[3]	[4]	$[5]=[3]/[4]*[2]$	$[6]=[1]/[5]$
Κ.Δ.Αγκιστρίου	886	596	320	630	303	2,93
Μεγαλοχώρι,το (τ.Αγκιστριον,το)	444	293			149	2,98
Λιμενάρια,τα	104	72			37	2,84
Σκάλα,η	338	231			117	2,88

Κεφάλαιο 12: Μελέτη Περίπτωσης για τη Νήσο «Αγκίστρι»

Πίνακας 12-8 Εκτίμηση πλήθους κτιρίων παραθεριστικής κατοικίας και κατοίκηση, ανά οικισμό.

ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	Αριθμός κτιρίων για κατοικία ως κύρια χρήση	Συνολικός Αριθμός κανονικών κύριων κατοικιών: Κατοικούμενων (κατά την απογραφή) & Κενών-δευτερευουσών-εξοχικών	Πλήθος κενών-παραθεριστικών κατοικιών	Αρχικό εκτιμώμενο πλήθος κτιρίων παραθεριστικής κατοικίας	Εγκαταλελειμμένα κτίρια και κτίρια με αραιή χρήση	Μειωμένος αριθμός κτιρίων κατοικίας παραθεριστών	Πλήθος Παραθεριστών	κατοίκηση (occupansy)
	[1]	[2]	[3]	[4]=[3]/[2]*[1]	[5]	[6]=[4]-[5]	[7]	[8]=[7]/[6]
Κ.Δ.Αγκιστρίου	596	630	310	293	50	243	700	2,88
Μεγαλοχώρι,το (τ.Αγκίστριον,το)	293			144	22	122	352	2,88
Λιμενάρια,τα	72			35	15	20	59	2,88
Σκάλα,η	231			114	13	101	290	2,88

Πίνακας 12-9 : Πλήθος Ξενοδοχείων και κατοίκηση, ανά οικισμό.

ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΚΙΣΤΡΙΟΥ	Αριθμός Ξενοδοχείων (Πηγή: http://www.agistri.com.gr/)	Κλίνες (Πηγή:Ιστότοποι Ξενοδοχείων)	Κατοίκηση
Κ.Δ.Αγκιστρίου	74	1838	24,84
Μεγαλοχώρι,το (τ.Αγκίστριον,το)	14	352	25,14
Λιμενάρια,τα	0	0	0,00
Σκάλα,η	60	1486	24,77

12.2.3 Χρονικό Βήμα, Πλήθος Χρονικών Βημάτων, Βροχή και Χρονοσειρά Συντελεστών Ζήτησης

12.2.3.1 Χρονικό Βήμα

Στο πρώτο φύλλο της Βιβλιοθήκης Υδατικών Τεχνολογιών δηλώνουμε το χρονικό βήμα (TimeStep) με το οποίο επιλέγουμε να αναλύσουμε το ομοίωμά μας. Η αρχική μας πρόθεση είναι να θέσουμε χρονικό βήμα μίας ημέρας, το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό για μία γενική αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων, που αποτελεί το σκοπό της εργασίας μας. Όμως κάποιοι λόγοι, που σχετίζονται με έναν περιορισμό που έχει τεθεί εκ κατασκευής του προγράμματος, μας οδηγούν στην υιοθέτηση χρονικού βήματος 12 ωρών. Ο περιορισμός αφορά τη μέγιστη ποσότητα πόσιμου νερού που έχει τεθεί ότι μπορεί ένα νοικοκυριό (household) να αντλεί από το κεντρικό σύστημα ύδρευσης ανά χρονικό βήμα. Η ποσότητα αυτή είναι 5000 L (ανά χρονικό βήμα). Όμως ένα ξενοδοχείο με κατοίκηση περίπου 24 (ένοικοι ανά ξενοδοχείο) και μια μέση κατανάλωση περίπου 300 L/ημέρα έχει ημερήσια κατανάλωση $24 \text{ άτομα} \times 300 \text{ L/άτομο/ημέρα} = 7200 \text{ L/ημέρα}$. Βλέπουμε δηλαδή ότι για χρονικό βήμα μίας ημέρας υπερβαίνεται ο περιορισμός των 5000 L. Έτσι, στο φύλλο «TimeStep» του αρχείου “UWOT_TECHLIB.xls” θέτουμε την τιμή «0,5 (days)», που αντιστοιχεί στη χρονική διάρκεια μισής ημέρας, δηλαδή 12 ωρών. Οπότε στο ίδιο παράδειγμα του ξενοδοχείου η κατανάλωση θα είναι $24 \text{ άτομα} \times 150 \text{ L/άτομο/12h} = 3600 \text{ L/12h} < 5000 \text{ L/time step}$. Το χρονικό βήμα των 12 ωρών τίθεται και στα 6 ομοιώματά μας.

12.2.3.2 Πλήθος Χρονικών Βημάτων

Στο φύλλο «Model Parameters» του αρχείου UWOT_GUI.xls συμπληρώνουμε το πλήθος των χρονικών βημάτων (Number of steps). Αυτό εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια της περιόδου που επιθυμούμε να θέσουμε σε κάθε ομοίωμα. Θεωρώντας την περίοδο του καλοκαιριού ίση με δύο μήνες (Ιούλιο-Αύγουστο), υπολογίζουμε 62 ημέρες, οπότε για χρονικό βήμα 12 ωρών έχουμε $62 \text{ ημέρες} \times 2 \text{ χρονικά βήματα/ημέρα} = 124 \text{ χρονικά βήματα}$. Όλο το έτος έχει $365 \text{ ημέρες} \times 2 \text{ χρονικά βήματα/ημέρα} = 730 \text{ χρονικά βήματα/ημέρα}$. Οπότε η υπόλοιπη περίοδος, δηλαδή του χειμώνα των 10 μηνών (Σεπτέμβριος-Ιούνιος), έχει $730 - 124 = 606 \text{ χρονικά βήματα/ημέρα}$. Άρα για τα ομοιώματα «Μεγαλοχώρι-Χειμώνας», «Λιμενάρια-Χειμώνας» και «Σκάλα-Χειμώνας» το πλήθος των χρονικών βημάτων είναι 606, ενώ για τα ομοιώματα «Μεγαλοχώρι-Καλοκαίρι», «Λιμενάρια-Καλοκαίρι» και «Σκάλα-Καλοκαίρι» το πλήθος των χρονικών βημάτων είναι 124.

12.2.3.3 Χρονοσειρά Βροχόπτωσης

Στη συνέχεια, εισάγουμε στο φύλλο «Rain» του αρχείου UWOT_GUI.xls μια χρονοσειρά βροχόπτωσης. Γενικώς η χρονοσειρά αυτή επιθυμούμε να είναι όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη της πραγματικότητας με βάση στατιστικές αναλύσεις. Εμείς εδώ επιλέγουμε μια διαθέσιμη χρονοσειρά του έτους 1990 από τον σχετικά κοντινό στο Αγκίστρι σταθμό της Αίγινας (Πιν Β-1). Η χρονοσειρά αυτή μας δίνεται ήδη με χρονικό βήμα 12 ωρών οπότε δεν χρειάζεται αναγωγή, η οποία θα ήταν απαραίτητη εάν επιλέγαμε χρονικό βήμα μίας ημέρας. Προσέχουμε, ώστε το πλήθος των χρονικών βημάτων κάθε ομοιώματος να συμπίπτει με το πλήθος των χρονικών βημάτων της χρονοσειράς της βροχόπτωσης. Έτσι, για την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου θα έχουμε 124 τιμές βροχόπτωσης. Επίσης, προσέχουμε ώστε η χρονοσειρά που θέτουμε να αντιστοιχεί στη σωστή περίοδο προσομοίωσης.

Δηλαδή, για την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου τοποθετούμε τις τιμές της χρονοσειράς που αντιστοιχούν σε αυτήν την περίοδο, με την κανονική χρονολογική σειρά. Το ύψος βροχής της συγκεκριμένης χρονοσειράς είναι για την περίοδο του χειμώνα 277,70 mm, ενώ το αντίστοιχο ύψος για την περίοδο του καλοκαιριού είναι 61,30 mm.

12.2.3.4 Χρονοσειρά Συντελεστών Ζήτησης

Ακόμα, θέτουμε στο φύλλο «Future» του αρχείου UWOT_GUI.xls τη χρονοσειρά των συντελεστών ζήτησης (Demand coefficients). Εμείς εδώ θα θέσουμε την τιμή της μονάδας («1») για ολόκληρη την περίοδο, θεωρώντας ότι η ζήτηση νερού παραμένει σταθερή σε κάθε χρονικό βήμα, καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου κάθε ομοιώματος. Μια διαφοροποίηση στην υδατική κατανάλωση των μόνιμων κατοίκων μεταξύ της περιόδου του καλοκαιριού και του χειμώνα θα γίνει σε επόμενη παράγραφο της εργασίας αυτής, μέσω των διαφοροποιημένων συντελεστών κατανάλωσης «Frequencies». Εκείνη όμως η διαφοροποίηση αφορά ξεχωριστά ομοιώματα, αφού για κάθε οικισμό έχουμε ξεχωριστό ομοίωμα για την περίοδο του καλοκαιριού και ξεχωριστό για την περίοδο του χειμώνα. Δίνεται πάντως προσοχή, ώστε κι εδώ το πλήθος των σημείων της χρονοσειράς που θέτουμε να συμπίπτει με το πλήθος των χρονικών βημάτων της προσομοίωσης ` διότι εάν είναι μικρότερο το πρώτο πλήθος, τότε για τα υπόλοιπα βήματα, κατά τα οποία θα θέλαμε το ομοίωμά μας να «τρέχει», η υδατική κατανάλωση θα θεωρείται μηδενική (εφόσον παραμένουν κενά τα αντίστοιχα κελιά των συντελεστών ζήτησης).

12.2.4 Συσσκευές Υδατικής Χρήσεως και Συχνότητα Χρήσεως Αυτών (Appliances and Frequencies)

12.2.4.1 Συσσκευές Υδατικής Χρήσεως

Κατά την προσπάθεια προσομοίωσης της τρέχουσας κατάστασης, κατά τη διαμόρφωση δηλαδή του σεναρίου αναφοράς, γίνεται μια επιλογή συσκευών υδατικής κατανάλωσης, οι οποίες θα πρέπει να είναι όμοιες στα χαρακτηριστικά τους, όσο το δυνατόν, με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται κατά το πλείστον στην πραγματικότητα, στον αντίστοιχο κτιριακό τύπο της περιοχής προσομοίωσης. Οι εναλλακτικές επιλογές βρίσκονται στη Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών (UWOT_TECHLIB.xls), απ' όπου αντλούμε και τον κωδικό αριθμό της επιλεγμένης συσκευής, που σχετίζεται με τη σειρά καταχώρησης της κάθε συσκευής. Έπειτα, τον κωδικό αυτό αριθμό τον εισάγουμε στο αρχείο UWOT_GUI.xls, στο φύλλο «Model Parameters», στο σχετικό πίνακα «INSTALLED HOUSEHOLD APPLIANCES PER HOUSEHOLD TYPE», ώστε να αντιστοιχεί η κάθε επιλεγμένη συσκευή με την κατηγορία στην οποίαν ανήκει και με τον κτιριακό τύπο για τον οποίον έχει επιλεγεί.

Οι ομάδες συσκευών είναι οι εξής: Τα πλυντήρια ρούχων (Washing Machine), τα καζανάκια της τουαλέτας (Toilet), οι τοπικές μονάδες επεξεργασίας (Treatment) που στην τρέχουσα κατάσταση δεν υφίστανται σε κανένα τύπο κτιρίου, οι ντουζιέρες (Shower), οι μπανιέρες (Bath), οι νιπτήρες (Handbasin), οι νεροχύτες της κουζίνας (Kitchen Sink), τα πλυντήρια πιάτων (Dish Washer), οι συσκευές ποτίσματος του κήπου (Garden), εξωτερικές διατάξεις όπως πισίνες ή σιντριβάνια (Outside use) και τα αειφόρα τοπικά συστήματα αποχέτευσης ομβρίων υδάτων (SUDSlocal). Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε να μην μας επιτρέπεται να θέσουμε στο ίδιο σπιτικό από κοινού νεροχύτη κουζίνας και πλυντήριο πιάτων.

Στον Πίνακα 12-10 παρατίθεται ο κωδικός της επιλεγμένης συσκευής υδατικής κατανάλωσης για κάθε ομάδα συσκευών, σε κάθε τύπο κτιρίου. Δίνεται ακόμη η ονομασία της συσκευής, στην οποία παραπέμπει ο κωδικός αριθμός που έχει τεθεί, όπως αυτή είναι καταχωρημένη για την αντίστοιχη συσκευή στη Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών. Οφείλουμε να ενημερώσουμε ότι οι επιλογές είναι ενδεικτικές, καθότι δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ποιος τύπος συσκευών είναι αντιπροσωπευτικότερος των πραγματικών συσκευών. Η επιλογή ωστόσο των «siphone conventional» και «above ground swimming pool», έγινε παρόλο που δεν θεωρείται πιθανή η (ευρεία) χρήση των συγκεκριμένων συσκευών στο Αγκίστρι, αλλά κρίθηκε αντιπροσωπευτικότερη η υδατική τους κατανάλωση σε σύγκριση με άλλες επιλογές και παράλληλα εκτιμάται ότι δεν μεταβάλλονται σε σημαντικό βαθμό οι υπόλοιπες παράμετροι της αξιολόγησής μας (π.χ. οικονομία, κοινωνική αποδοχή)

Όπου έχει τεθεί ο αριθμός «0», σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο τύπο κτιρίου δεν υπάρχει κάποια συσκευή της αντίστοιχης ομάδας. Στον ίδιο πίνακα παραθέτουμε και την ποσότητα νερού σε λίτρα, που εκτιμάται από τον κατασκευαστή του προγράμματος ότι καταναλώνεται σε κάθε χρήση της αντίστοιχης συσκευής.

Πίνακας 12-10 Επιλεγμένες συσκευές (κωδικός και ονομασία) υδατικής κατανάλωσης, για το σενάριο αναφοράς (Σενάριο 0), ανά τύπο κτιρίου και αντίστοιχη κατανάλωση νερού ανά χρήση.

Συσκευές	Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία	Ξενοδοχείο	Ονομασία Συσκευής	Κατανάλωση νερού (Λίτρα ανά χρήση)
Washing Machine	5	5	5	5 : Bosch WVT1260	47,0
Toilet	2	2	2	2 : Siphone conventional	7,0
Treatment	0	0	0	-	-
Shower	1	1	1	1 : Conventional	55,0
Bath	0	0	2	2 : Medium Bath	130,0
Handbasin	1	1	1	1 : Conventional tap	3,1
Kitchen Sink	1	1	0	1 : Conventional	50,0
Dish Washer	0	0	1	1 : Bosch SGV 53E03	14,0
Garden	2	2	2	2 : 30m Garden Hose Trolley	10,0
Outside use	0	0	3	3 : Above ground Swimming Pool	48000,0
SUDSlocal	0	0	0	-	-

12.2.4.2 Συχνότητα Χρήσεως – Κριτήρια Επιλογής Συντελεστών

Για καθεμία από τις επιλεγμένες αυτές συσκευές έχει προεπιλεγεί-εκτιμηθεί από τον κατασκευαστή του προγράμματος μια συχνότητα χρήσεως. Ο σχετικός πίνακας με τις τιμές χρήσεων/άτομο/χρονικό βήμα - οι οποίες εξαρτώνται προφανώς και από το χρονικό βήμα που έχει επιλεγεί - βρίσκεται στο αρχείο UWOT_GUI.xls, στο φύλλο «Frequencies_Leakages» με το όνομα «VALUES SUGGESTED BY TECH LIB». Ο εκάστοτε όμως χρήστης του προγράμματος έχει τη δυνατότητα να εισαγάγει άλλες τιμές χρήσεων, ώστε να προσαρμόσει καλύτερα το ομοίωμά του στο υδατικό καταναλωτικό προφίλ της περιοχής μελέτης. Αυτό γίνεται με τη χρήση του πίνακα «AMENDED VALUES», που βρίσκεται στο ίδιο φύλλο εργασίας, αφού τον ενεργοποιήσουμε μεταβάλλοντας την ένδειξη από «0» σε «1».

12.2.4.2.1 1^ο Κριτήριο

Ένα βασικό μας κριτήριο, με το οποίο επιλέγουμε στην εργασία αυτή τις τιμές συχνότητας χρήσεων, είναι η κατανάλωση νερού ανά άτομο ανά ημέρα, έτσι ώστε να προσεγγίζει τις τυπικές τιμές ειδικής κατανάλωσης, που αντλούμε από τη βιβλιογραφία για την Ελλάδα (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007). Εκτιμάται ότι η κατανάλωση νερού στην Ελλάδα για τους μόνιμους κατοίκους είναι $150 \div 200$ L/ημέρα/κάτοικο, για τους παραθεριστές $200 \div 250$ L/ημέρα/κάτοικο και για τους τουρίστες $250 \div 350$ L/ημέρα/κάτοικο (Πίνακας 12-11).

Πίνακας 12-11 Τυπικές τιμές ειδικής κατανάλωσης στην Ελλάδα
(Πηγή: Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007).

	Υδατική Κατανάλωση (L/ημέρα/κάτοικο) (1 ^ο Κριτήριο)
Οικιακή χρήση μόνιμων κατοίκων	150-200
Οικιακή χρήση παραθεριστών	200-250
Τουριστική χρήση	250-350

12.2.4.2.2 2^ο Κριτήριο

Επειδή όμως το πρώτο αυτό κριτήριο τίθεται μόνο επί του αθροίσματος της κατανάλωσης, χρησιμοποιούμε κι ένα δεύτερο κριτήριο. Το δεύτερο αυτό κριτήριο είναι ο βαθμός προσέγγισης της πραγματικής κατανομής – σε ποσοστά επί τοις εκατό - της υδατικής κατανάλωσης ανά τα διάφορα τμήματα του νοικοκυριού. Η σύγκριση γίνεται με δύο υπάρχοντες κατανομές υδατικής κατανάλωσης που αντλούμε από τη βιβλιογραφία. Η μία αφορά ένα αγγλικό κι η άλλη ένα ελληνικό νοικοκυριό 3 ατόμων (κοντά δηλαδή στο μέγεθος της κατοίκησης των κτιρίων κατοικίας της εργασίας μας) και παρουσιάζονται στις δύο τελευταίες στήλες του Πίνακα 12-13.

12.2.4.2.3 Επιλογή Συντελεστών, Αποτελέσματα Ατομικής Κατανάλωσης και Κατανομών Οικιακής Χρήσης

Με αυτόν τον τρόπο καταλήγουμε να επιλέξουμε ως συχνότητες χρήσεων – δηλαδή αριθμός χρήσεων ανά 12 ώρες - των διαφόρων συσκευών υδατικής κατανάλωσης, για κάθε κτιριακό τύπο, τις τιμές του Πίνακα 12-12. Είναι προφανές ότι οι τιμές αυτές θα ήταν διπλάσιες εάν χρησιμοποιούσαμε διπλάσιο χρονικό βήμα, δηλαδή χρονικό βήμα μίας ημέρας. Στις τελευταίες δύο σειρές του ίδιου πίνακα μπορούμε να δούμε τις προκύπτουσες υδατικές καταναλώσεις ανά άτομο, ώστε με την τελευταία σειρά, η οποία είναι ανηγμένη

σε χρονικό διάστημα μίας ημέρας, να κάνουμε τη σύγκριση - σύμφωνα με το πρώτο κριτήριο – με τις τυπικές τιμές ειδικής κατανάλωσης στην Ελλάδα.

Στον Πίνακα 12-13 μπορούμε να δούμε την προκύπτουσα κατανομή (σε ποσοστά %) της υδατικής κατανάλωσης για κάθε κτιριακό τύπο και να τη συγκρίνουμε με υπάρχουσες στη βιβλιογραφία κατανομές, σύμφωνα με το δεύτερό μας κριτήριο. Η κατανομή αυτή δεν παρέχεται από το πρόγραμμα αυτοματοποιημένα, αλλά προκύπτει με χρήση κάποιων αποτελεσμάτων του προγράμματος και με περαιτέρω επεξεργασία αυτών. Ένα σημείο που θα μπορούσαμε να τονίσουμε εδώ, είναι η έμφαση που έχει δοθεί, ώστε τα ποσοστά υδατικής κατανάλωσης για χρήση μπάνιου, δηλαδή για την ντουζιέρα, την μπανιέρα και τον νιπτήρα, να είναι αρκετά αυξημένα την περίοδο του καλοκαιριού στις τουριστικές μονάδες και στις παραθεριστικές κατοικίες, εις βάρος των άλλων χρήσεων (κουζίνα, πλυντήριο ρούχων κ.τ.λ.). Αυτό πιστεύουμε ότι συμβαδίζει με την πραγματικότητα, αφού από την πράξη έχουμε την αίσθηση ότι το καλοκαίρι, όπου έτσι κι αλλιώς καταναλώνεται περισσότερο νερό, σημειώνεται μια μεγαλύτερη αύξηση στη χρήση των συσκευών του μπάνιου από ό,τι σε κάποιες άλλες συσκευές, από τους πληθυσμούς που κάνουν τις διακοπές τους.

Πίνακας 12-12 Συχνότητα χρήσεων συσκευών υδατικής κατανάλωσης (αριθμός χρήσεων ανά 12 ώρες) για κάθε τύπο χρήσης – Προκύπτουσες ατομικές καταναλώσεις για κάθε τύπο χρήσης.

Ομάδα Συσκευών Υδατικής Κατανάλωσης	Μόνιμοι Κάτοικοι Χειμώνα	Καλοκαίρι		
		Μόνιμοι Κάτοικοι	Παραθεριστές	Τουρίστες
Washing Machine	0,400	0,430	0,460	0,520
Toilet	3,400	3,700	3,900	4,400
Treatment	0,500	0,500	0,500	0,500
Shower	0,380	0,420	0,580	0,600
Bath	0,000	0,000	0,000	0,200
Handbasin	2,000	2,300	3,100	3,500
Kitchen Sink	0,180	0,200	0,350	0,000
Dish Washer	0,000	0,000	0,000	0,700
Garden	0,200	1,000	1,300	4,000
Outside use	0,000	0,000	0,000	0,004
SUDSlocal	0,000	0,000	0,000	0,000
Κατανάλωση(L/άτομο/12 h)	79,4	89,8	112,5	144,2
Αναγωγή κατανάλωσης σε χρονικό βήμα μίας ημέρας (L/άτομο/ημέρα)	158,8	179,6	225	288,4

Πίνακας 12-13 Αποτελέσματα ποσοστών % της υδατικής κατανάλωσης (κατανομή οικιακής χρήσης νερού) σύμφωνα με την προσομοίωση και σύγκριση με υπάρχοντα στη βιβλιογραφία καταναλωτικά προφίλ.

Ομάδα Συσκευών Υδατικής Κατανάλωσης	Αποτελέσματα Κατανομών (σε ποσοστά %) Υδατικής Κατανάλωσης για κάθε Κτιριακό Τύπο				Κατανομές Οικιακής Υδατικής Κατανάλωσης από Βιβλιογραφία (2ο Κριτήριο)	
	Μόνιμοι Κάτοικοι- Χειμώνας	Μόνιμοι Κάτοικοι - Καλοκαίρι	Παραθεριστική Χρήση	Τουριστική Χρήση	Αγγλικό Νοικοκυριό (<i>Memon and Butler, 2006</i>)	Καταναλωτικό προφίλ Αθηνών για νοικοκυριό 3 ατόμων (<i>Lekkas et al, 2008</i>)
Washing Machine	24	23	19	17	20	26
Toilet	30	29	24	21	31	30
Treatment	-	-	-	-	-	-
Shower	26	26	28	22	20	34
Bath	0	0	0	18		
Handbasin	8	8	9	7	9	10
Kitchen Sink	11	11	16	0	15	
Dish Washer	0	0	0	7	1	-
Garden	1	4	4	1	4	
Outside use	0	0	0	7	-	-
SUDSlocal	-	-	-	-	-	-

Τα δεδομένα του πίνακα παρουσιάζονται περισσότερο ομαδοποιημένα και οπτικοποιημένα με τη μορφή γραφήματος στο Σχήμα 12-8.



Σχήμα 12-8 Γράφημα κατανομών υδατικής κατανάλωσης. Σύγκριση κατανομών των τύπων νοικοκυριού της προσομοίωσης με πρότυπα νοικοκυριά από τη βιβλιογραφία.

12.2.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης και Σύγκριση με τη Μετρημένη στην Πραγματικότητα Κατανάλωση

Από την προσομοίωση που δημιουργήσαμε, με τις παραδοχές που κάναμε και τα δεδομένα που εισαγάγαμε, τα αποτελέσματα υδατικής κατανάλωσης - για κάθε οικισμό και για κάθε μία από τις περιόδους με τις οποίες χωρίσαμε το έτος - παρουσιάζονται στην τελευταία στήλη (στήλη 7) του Πίνακα 12-14. Παρουσιάζεται δηλαδή η τελική κατανάλωση νερού για καθένα από τα 6 ομοιώματα που έχουμε κατασκευάσει. Το πρόγραμμα βέβαια τους υπολογισμούς αυτούς τους κάνει αυτοματοποιημένα και η υδατική αυτή κατανάλωση δίνεται από κοινού με διάφορα άλλα αποτελέσματα.

Πίνακας 12-14 Υπολογισμός τελικής υδατικής κατανάλωσης για τα 6 ομοιώματά μας (Βλ. Στήλη 7).

ΛΙΜΕΝΑΡΙΑ	κατοίκηση-occupancy	αριθμός κτιρίων	Πληθυσμός	κατανάλωση (L/άτομο/12 h)	πλήθος χρονικών βημάτων	κατανάλωση νερού (m ³)	Συνολική Κατανάλωση ανά εποχή
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]=[4]*[3]*[5]/1000	[7]
Μόνιμοι Χειμώνα	2,84	37	105	79,4	606	5056,071	1974,910
Μόνιμοι Καλοκαίρι	2,84	37	105	89,9	124	1171,390	
Παραθεριστές Καλοκαίρι	2,88	20	58	112,5	124	803,520	
Τουρίστες Καλοκαίρι	0	0	0	0	124	0,000	

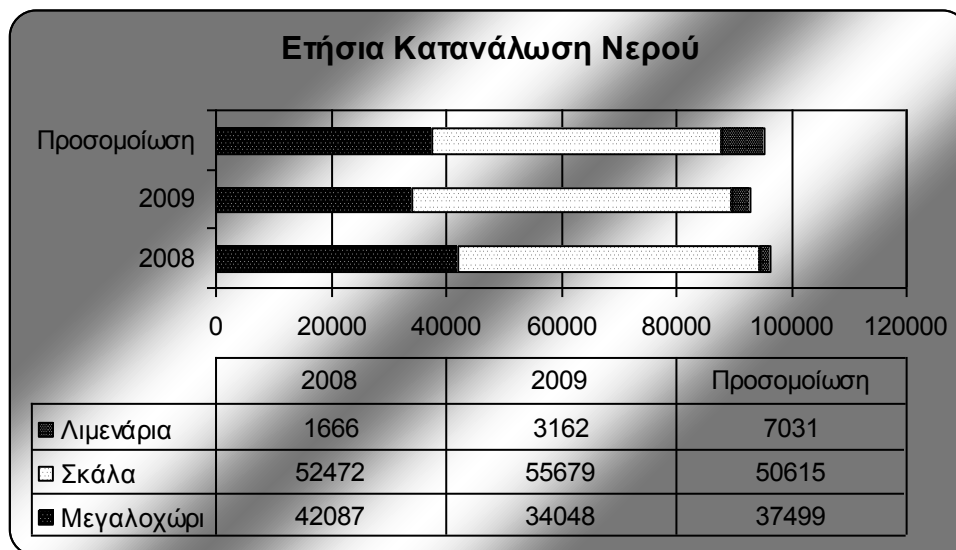
ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ	κατοίκηση (occupancy)	αριθμός κτιρίων	πληθυσμός	κατανάλωση (L/άτομο/12 h)	πλήθος χρονικών βημάτων	κατανάλωση νερού (m ³)	Συνολική Κατανάλωση ανά εποχή
Μόνιμοι Χειμώνα	2,98	149	444	79,4	606	21364,644	16133,544
Μόνιμοι Καλοκαίρι	2,98	149	444	89,7	124	4938,746	
Παραθεριστές Καλοκαίρι	2,88	122	351	112,5	124	4901,472	
Τουρίστες Καλοκαίρι	25,14	14	352	144,2	124	6293,326	

ΣΚΑΛΑ	κατοίκηση (occupancy)	αριθμός κτιρίων	πληθυσμός	κατανάλωση (L/άτομο/12 h)	πλήθος χρονικών βημάτων	κατανάλωση νερού (m ³)	Συνολική Κατανάλωση ανά εποχή
Μόνιμοι Χειμώνα	2,88	117	337	79,4	606	16213,302	34402,767
Μόνιμοι Καλοκαίρι	2,88	117	337	89,8	124	3752,117	
Παραθεριστές Καλοκαίρι	2,88	101	291	112,5	124	4057,776	
Τουρίστες Καλοκαίρι	24,77	60	1486	144,3	124	26592,874	
						Συνολική κατανάλωση νησιού ανά έτος	95145,238

12.2.5.1 Σύγκριση Ετήσιας Κατανάλωσης

Τα αποτελέσματα αυτά τίθενται υπό σύγκριση με τον πίνακα υδατικών καταναλώσεων (Πίνακας 12-3) από τα στοιχεία της Κοινότητας. Έτσι μπορεί να αξιολογηθεί και κατά πόσον ικανοποιητικά έχει προσομοιωθεί ολόκληρο το σύστημά μας. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι η συνολική ετήσια (τιμολογημένη) κατανάλωση νερού εκτιμάται με την προσομοίωση 95145 m³, η οποία είναι μία ενδιάμεση τιμή σε σχέση με τις πραγματικές 96225 m³ το έτος 2008 και 92889 m³ το έτος 2009 και ως εκ τούτου κρίνεται ικανοποιητική.

Η συνολική (τιμολογημένη) κατανάλωση νερού ανά οικισμό βρίσκεται, για το Μεγαλοχώρι 37499 m³, έναντι 42087 m³ το 2008 και 34048 το 2009, για τη Σκάλα 50615 m³, έναντι 52472 m³ το 2008 και 55679 το 2009 και για τα Λιμενάρια 7031 m³, έναντι 1666 m³ το 2008 και 3162 m³ το 2009. Φαίνεται ότι στην προσομοίωσή μας υποεκτιμήθηκε η συμβολή του οικισμού Σκάλα στη συνολική κατανάλωση του νησιού, σε αντίθεση με τον οικισμό Λιμενάρια, όπου η κατανάλωση υπερεκτιμήθηκε. Αυτό οφείλεται πιθανότατα σε κάποιες παραδοχές που έχουμε κάνει, όπως για παράδειγμα η παραδοχή της κατανομής των παραθεριστικών κατοικιών ανάλογα με τον αριθμό των κτιρίων για κύρια κατοικία ανά οικισμό (Πίνακας 12-8). Είναι πολύ πιθανό το ποσοστό των παραθεριστικών κατοικιών που αντιστοιχεί στον οικισμό Σκάλα να είναι μεγαλύτερο και στα Λιμενάρια μικρότερο. Είναι επίσης πιθανό να έχει μειωθεί ο μόνιμος πληθυσμός στα Λιμενάρια σε σχέση με αυτόν που υπήρχε την περίοδο της απογραφής (2001).



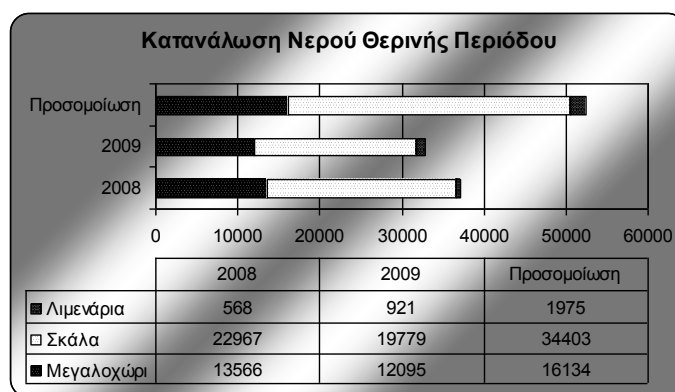
Σχήμα 12-9 Ετήσια σύγκριση της κατανάλωσης από την προσομοίωση σε σχέση με τα στοιχεία των μετρήσεων.

12.2.5.2 Σύγκριση Κατανάλωσης ανά Οικισμό τη Θερινή και τη Χειμερινή Περίοδο

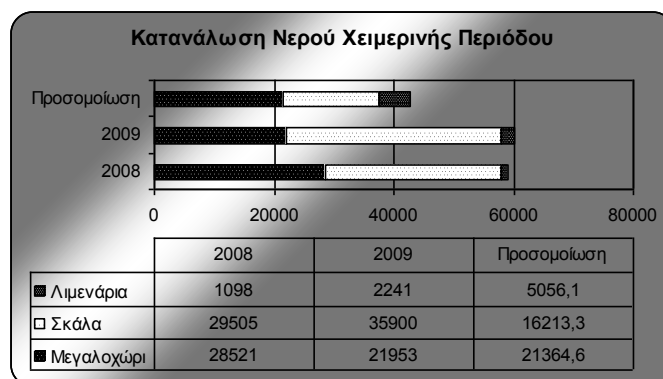
Ακόμη, μπορούμε να εστιάσουμε στις καταναλώσεις μόνο της περιόδου του καλοκαιριού όπου αναδεικνύονται σε κάποιο βαθμό και οι αδυναμίες της προσομοίωσής μας με τον τρόπο που την εφαρμόζουμε. Στο Μεγαλοχώρι, την περίοδο του καλοκαιριού βρίσκουμε κατανάλωση 16134 m³, δηλαδή έναντι 13566 m³ το 2008 και 12095 m³ το 2009. Μεγαλύτερη βρίσκεται η κατανάλωση της περιόδου αυτής και στη Σκάλα, 34403 m³, έναντι 22967 m³ το 2008 και 19779 m³ το 2009, όπως και στα Λιμενάρια, 1975 m³, έναντι 568 m³ το 2008 και 921 m³ το 2009 (Σχήμα 12-10).

Η απόκλιση αυτή (η οποία είναι πολύ εντονότερη για τον οικισμό της Σκάλας) είναι αναμενόμενη και την έχουμε προβλέψει εξαρχής (βλ. 12.2.1), αφού το στήσιμο του ομοιώματος έχει γίνει έτσι ώστε η κατανάλωση της θερινής περιόδου των 2 μηνών να καλύπτει κι ένα μέρος της κατανάλωσης της περιόδου της άνοιξης, όπου έχουν αρχίσει να προσέρχονται οι επισκέπτες του νησιού για τις διακοπές τους. Προφανώς, για τον ίδιο λόγο, η προσομοιωμένη κατανάλωση της χειμερινής περιόδου (42633 m³) προκύπτει υποεκτιμημένη σε σχέση με την καταμετρημένη στην πραγματικότητα (59124 m³ το 2008 και 60094 m³ το 2009)⁹ (Σχήμα 12-11).

Όπως έχουμε προαναφέρει, αυτή η επιλογή γίνεται εξαιτίας της αδυναμίας εισαγωγής μεταβλητού πληθυσμού στο UWOT και θα μπορούσε ενδεχομένως να καλυφθεί με την αλλαγή των συντελεστών ζήτησης (demand coefficients). Όμως και αυτή η επιλογή θα οδηγούσε την προσομοίωσή μας σε άλλα σφάλματα, καθώς οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται για τη χρονική διακύμανση της ζήτησης όλου του πληθυσμού και όχι της ζήτησης των κατοίκων κάθε τύπου νοικοκυριού ξεχωριστά. Εάν υπήρχε η δυνατότητα εισαγωγής συντελεστών ζήτησης, για κάθε νοικοκυριό ξεχωριστά, τότε θα μπορούσαμε ίσως να προσομοιώσουμε λίγο καλύτερα την τουριστική διακύμανση της ζήτησης και δεν θα υποθέταμε σταθερή ζήτηση σε κάθε χρονικό βήμα (βλ 12.2.3.4).



Σχήμα 12-10 Σύγκριση της κατανάλωσης (προσομοίωσης, του 2008, του 2009) τη θερινή περίοδο.



Σχήμα 12-11 Σύγκριση της κατανάλωσης (προσομοίωσης, του 2008, του 2009) τη χειμερινή περίοδο.

⁹ Αν συγκρίνουμε και την κατανάλωση μόνο για το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου διαπιστώνουμε ότι η εκτίμηση βρίσκεται αρκετά κοντά με την πραγματικότητα. Η εκτίμηση της προσομοίωσης προκύπτει 8527 m³ (42633/5) και οι μετρήσεις δίνουν 6400 m³ το 2008 και 8506 m³ το 2009. Κι εδώ όμως θα διαπιστώσουμε μια υπερεκτίμηση της κατανάλωσης για τον οικισμό Λιμενάρια.

12.3 1^ο Εναλλακτικό Σενάριο – Συσκευές Μειωμένης Κατανάλωσης Νερού

Στη συνέχεια μελετώνται κάποια εναλλακτικά σενάρια υδατικής διαχείρισης, με τη βοήθεια του προγράμματος προσομοίωσης UWOT.

Στο 1^ο εναλλακτικό σενάριο υδατικής διαχείρισης, οι βασικές διαφοροποιήσεις που εισάγουμε είναι οι εξής:

- Δοκιμάζουμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιες άλλες συσκευές, οι οποίες αποκαλούνται συχνά και «έξυπνες» (smart). Συνήθως πρόκειται για συσκευές τεχνολογικά προηγμένες, οι οποίες ικανοποιούν το σκοπό για τον οποίον προορίζονται με μικρότερη κατανάλωση νερού.
- Προστίθενται εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε κάθε οικισμό.

12.3.1 Χρησιμοποίηση Συσκευών Εξοικονόμησης Νερού

Τις συμβατικές συσκευές υδατικής κατανάλωσης (βλ. 12.2.4) τις αντικαθιστούμε με τις «έξυπνες αυτές συσκευές». Η επιλογή γίνεται από την υπάρχουσα Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών (UWOT_TECHLIB.xls) και γίνεται με κριτήριο την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού, εις βάρος πιθανότατα της οικονομίας και άλλων παραμέτρων. Άλλες συσκευές δεν είναι τεχνολογικά προηγμένες (έξυπνες), απλώς είναι πιο λιτές (π.χ. μικρότερη μπανιέρα).

Η τουαλέτα που επιλέγεται, με την ονομασία «Dual valve flush 4/2», έχει την ιδιότητα να δίνει την επιλογή στο χρήστη μεταξύ δύο ποσοτήτων έκπλυσης, μίας γεμάτης (4 L) και μίας μισής (2 L). Για τον τύπο ντουζιέρας «Low flow showerheads with build in ventury effect», όπως καταλαβαίνουμε από την ονομασία του, εκμεταλλεύεται το φαινόμενο “Venturi” (αύξηση κινητικής ενέργειας) μειώνοντας την αναγκαία από το χρήστη παροχή νερού. Ο νιπτήρας με την ονομασία «Electronic Sensor Tap» είναι ο τύπος της βρύσης ο οποίος λειτουργεί με αισθητήρα, έτσι ώστε να υπάρχει ροή μόνο όταν υπάρχει κάποιο αντικείμενο από κάτω, ουσιαστικά για να μην ρέει το νερό άσκοπα. Για την άρδευση έχει επιλεγεί ο τύπος «Manual Pressure Sprayer», όπου πρόκειται για ένα μηχάνημα που παρέχει νερό με σχετικά μεγάλη πίεση.

Παρά την επιλογή των συσκευών, ωστόσο, με κριτήριο την υδατική εξοικονόμηση, δεν υιοθετήθηκε η ακραία (για τις συνήθειές των κατοίκων του νησιού) λύση της τουαλέτας κομποστοποίησης, η οποία έχει ελάχιστες απαιτήσεις κατανάλωσης νερού. Επίσης στο νέο αυτό σενάριο επιλέγεται η χρήση πλυντηρίου πιάτων για όλους τους τύπους κτιρίου, ενώ στο σενάριο αναφοράς είχε γίνει η παραδοχή ότι οι μόνιμοι κάτοικοι και οι παραθεριστές δεν χρησιμοποιούσαν πλυντήριο πιάτων, κυρίως λόγω του περιορισμού που έχει τεθεί στο UWOT για επιλογή είτε πλυντηρίου πιάτων, είτε πλύσιμο πιάτων στο νεροχύτη της κουζίνας. Κατά τα άλλα, οι προαναφερθείσες αντικαταστάσεις των συσκευών με άλλες μικρότερης υδατικής κατανάλωσης τίθενται ίδιες για τους ίδιους τύπους κτιρίου μεταξύ των οικισμών. Στον Πίνακα 12-15 παρατίθενται οι νέες συσκευές που θέτουμε στο σενάριο αυτό.

Πίνακας 12-15 Επιλεγμένες συσκευές (κωδικός και ονομασία) υδατικής κατανάλωσης, για το σενάριο συσκευών μειωμένης κατανάλωσης (Σενάριο 1), ανά τύπο κτιρίου και αντίστοιχη κατανάλωση νερού ανά χρήση.

Συσκευές	Μόνιμοι	Παραθεριστές	Τουρίστες	Επεξήγηση Συσκευής	Κατανάλωση νερού (Λίτρα ανά χρήση)
Washing Machine	4	4	4	4 : Miele Premier 520	45,0
Toilet	3	3	3	3 : Dual valve flush 4/2	2,4
Treatment	0	0	0	-	-
Shower	3	3	3	3 : Low flow showerheads with build in ventury effect	35,0
Bath	0	0	1	1 : Small Bath	80,0
Handbasin	4	4	4	4 : Electronic Sensor Tap	1,0
Kitchen Sink	0	0	0	-	-
Dish Washer	4	4	4	4 : Zanussi DCE5655	7,0
Garden	1	1	1	1 : Manual Pressure Sprayer	5,0
Outside use	0	0	3	3 : Above ground Swimming Pool	48000,0
SUDSlocal	0	0	0	-	-

12.3.2 Προσθήκη Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων

Στο σενάριο αυτό όμως προστίθενται και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε κάθε οικισμό, επειδή θεωρούμε ότι πρόκειται για ένα βήμα που κάποτε θα πρέπει να γίνει από το δήμο Αγκιστρίου, αλλά και για να διευκολυνθεί η σύγκριση με τα επόμενα σενάρια που ακολουθούν. Έτσι, τίθενται σε κάθε οικισμό εγκαταστάσεις κεντρικής επεξεργασίας. Η επιλογή της καταλληλότερης εγκατάστασης σε κάθε οικισμό γίνεται με κριτήριο τις παροχές των παραγόμενων λυμάτων, ώστε να μπορεί να τις επεξεργαστεί, αλλά με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος, δηλαδή επιλέγεται η μικρότερη δυνατή εγκατάσταση. Διευκρινίζεται πάντως ότι σε κανένα οικισμό στο σενάριο αυτό δεν υιοθετείται επαναχρησιμοποίηση οποιασδήποτε ροής. Στον Πίνακα 12-16 παρουσιάζονται οι επιλεγμένοι τύποι των μονάδων επεξεργασίας, με τις αντίστοιχες παροχές που δύνανται να επεξεργαστούν. Με βάση λοιπόν τα νέα δεδομένα υδατικής κατανάλωσης, δηλαδή βάσει της υδατικής κατανάλωσης του 1^{ου} Σεναρίου, θέτουμε:

- Στον οικισμό Μεγαλοχώρι μία εγκατάσταση (Wastewater Treatment Plant, WWTP), με τον κωδικό 1 που αντιστοιχεί στην εγκατάσταση «Sedimentation with coagulant». Δηλαδή η επεξεργασία εστιάζεται στην καθίζηση με τη χρήση κροκιδωτικού.
- Στον οικισμό Σκάλα επιλέχθηκε ο ίδιος τύπος επεξεργασίας με αυτόν του Μεγαλοχωρίου, αλλά με δυνατότητα επεξεργασίας μεγαλύτερων παροχών, εξαιτίας των πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων λυμάτων που παράγονται το καλοκαίρι.
- Στον οικισμό Λιμενάρια επιλέχθηκε, κατά σύμβαση, ένας τύπος κεντρικής επεξεργασίας γκρι νερού αντί μαύρου νερού, διότι στη Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών (UWOT_TECHLIB.xls) δεν υπήρχε καταχωρημένος κάποιος τύπος επεξεργασίας μεικτών λυμάτων μικρών παροχών, ώστε να είναι και αρκετά οικονομικότερος. Απλώς επιλέχθηκε να μην καταλήγει σε αυτή τη μονάδα επεξεργασίας το νερό της τουαλέτας, αλλά όλο το υπόλοιπο γκρι νερό, μαζί και εκείνο του πλυντηρίου ρούχων και της κουζίνας.

Πίνακας 12-16 Επιλογή κεντρικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.

Σενάριο 1	Μεγαλοχώρι	Λιμενάρια	Σκάλα
CENTRAL TECHNOLOGIES			
Grey Treatment	-	1	-
WW Treatment	1	-	2
Επεξήγηση Συσκευής	1: Sedimentation with coagulant	(δεν έχει καταχωρηθεί συγκεκριμένη ονομασία)	2: Sedimentation with coagulant
Δυνατότητα Επεξεργασίας Παροχής (Λίτρα/Χρονικό Βήμα)	50000	15000	250000

Όλα τα υπόλοιπα δεδομένα της προσομοίωσης, εκτός δηλαδή των συσκευών και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, παραμένουν όπως είναι στο σενάριο «0».

12.4 2^ο και 3^ο Εναλλακτικό Σενάριο

Στη συνέχεια, με βάση τα δεδομένα του 1^{ου} σεναρίου θα δοκιμάσουμε 2 εναλλακτικά σενάρια για το υδατικό σύστημα του νησιού της μελέτης περίπτωσης. Οι επιλογές που μας δίνει τη δυνατότητα το πρόγραμμα να προσομοιώσουμε, για κάθε κτιριακό τύπο, σε κάθε οικισμό, αφορούν την υιοθέτηση συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού ή/και συστημάτων αξιοποίησης βρόχινου νερού. Η άλλη επιλογή που γίνεται είναι μεταξύ τοπικής ή κεντρικής εφαρμογής.

Η τοπική (onsite/local) εφαρμογή περιλαμβάνει μία δεξαμενή σε κάθε κτιριακή μονάδα – εφόσον ανήκει στον κτιριακό τύπο για τον οποίο γίνεται αυτή η επιλογή - η οποία δεξαμενή εξυπηρετεί τις ανάγκες του αντίστοιχου κτιρίου. Εάν πρόκειται για σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού θα πρέπει να τίθεται και μία μονάδα επεξεργασίας σε κάθε κτίριο, για τον τύπο του οποίου έχει προβλεφθεί τέτοιο σύστημα.

Η κεντρική (centralised) εφαρμογή περιλαμβάνει κεντρικές μονάδες συλλογής και επεξεργασίας νερού, για όλες τις κτιριακές μονάδες που ανήκουν στους κτιριακούς τύπους, για τους οποίους έχει επιλεγεί κεντρική εφαρμογή. Εάν πρόκειται για σύστημα αξιοποίησης βρόχινου νερού, τότε εκτός από τα «ιδιωτικά» κτίρια που συμμετέχουν σε αυτό το συλλογικό σύστημα, συμπεριλαμβάνεται και μία επιφάνεια δημόσιου χώρου από όπου μπορεί να συλλεχθεί αξιοποιήσιμο νερό της βροχής (public rain harvesting area).

Ασφαλώς, πολλές από τις προαναφερθείσες επιλογές μπορούν να συνδυαστούν και με αυτόν τον τρόπο να συντεθεί πλήθος εναλλακτικών σεναρίων κι έπειτα να συγκριθούν. Στην παρούσα εργασία μελετώνται δύο τέτοια σενάρια. Στο ένα σενάριο γίνεται προσπάθεια να αξιοποιηθεί η μέγιστη δυνατή ποσότητα γκρι και βρόχινου νερού (με τους περιορισμούς που θέτουμε όσον αφορά τις δυνατές χρήσεις αυτού του νερού), ώστε να ελαχιστοποιήσουμε κατά το μέγιστο τη ζήτηση σε πόσιμο νερό. Επιλέγονται κεντρικά συστήματα γκρι και βρόχινου νερού. Στο άλλο σενάριο γίνονται κάποιες επιλογές μικρότερης εξοικονόμησης νερού, σε τοπικό επίπεδο, όπου εγκαθίστανται επιτόπιες (onsite) δεξαμενές βρόχινου νερού στις μόνιμες και παραθεριστικές κατοικίες και επιτόπιο σύστημα γκρι νερού στα ξενοδοχεία. Το δεύτερο αυτό σενάριο ίσως είναι πιο ήπιο αφού δεν χρησιμοποιούνται μονάδες επεξεργασίας νερού σε όλες τις κτιριακές μονάδες, ούτε απαιτούνται μεγάλα έργα υποδομών. Στα ξενοδοχεία ωστόσο, λόγω της μεγαλύτερης κατοίκησης (occupancy) επιλέγεται τοπικό σύστημα γκρι νερού, διότι είναι οικονομικότερο σε συλλογικές οικιστικές διατάξεις.

12.4.1 Πηγές Γκρι Νερού και Εφαρμογές Πράσινου Νερού

Πριν προχωρήσουμε με την διαστασιολόγηση των δεξαμενών θα καθορίσουμε τις πηγές του γκρι νερού και τις χρήσεις του πράσινου νερού. Αυτό γίνεται στον πίνακα «SUPPLY GREY / PRIORITY TABLE» του UWOT. Ως πηγές γκρι νερού θέτουμε την ντουζιέρα, τη μπανιέρα (όταν χρησιμοποιείται τέτοια συσκευή) και το νιπτήρα. Στον ίδιο πίνακα επιλέγουμε τις εφαρμογές εκείνες, στις οποίες είναι επιτρεπτό να χρησιμοποιηθεί το πράσινο νερό. Επιλέγουμε ώστε οι επιτρεπτές αυτές χρήσεις να είναι το πότισμα του κήπου, ο καθαρισμός με το καζανάκι της τουαλέτας και ο καθαρισμός των ρούχων με το πλυντήριο. Όταν δεν επαρκεί το πράσινο νερό τότε, προφανώς, υπάρχει η πρόβλεψη να καλύπτεται η ζήτηση με πόσιμο νερό.

12.4.2 Εκτίμηση των Επιφανειών κάθε Τύπου Κτιρίου

Στη συνέχεια καθορίζονται οι ελεύθερες επιφάνειες σε κάθε τύπο κτιρίου (household)¹⁰, κυρίως για να προσδιοριστεί η ποσότητα του νερού που μπορεί να συλλεχθεί, αλλά και για άλλους λόγους, όπως για παράδειγμα για να προσδιοριστεί το μέγεθος της απορροής των όμβριων υδάτων. Συγκεκριμένα, η συνολική επιφάνεια που αντιστοιχεί σε ένα κτίριο χωρίζεται στην αδιαπέρατη επιφάνεια και στην περατή επιφάνεια. Όμως, μόνο από ένα μέρος της συνολικής αδιαπέρατης επιφάνειας, είναι εύκολο να συλλεχθεί και να αξιοποιηθεί νερό και αυτό συνήθως είναι η επιφάνεια της στέγης.

Εμείς έχουμε θέσει, ότι η επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού αποτελεί περίπου το 30-45% της συνολικής αδιαπέρατης επιφάνειας. Στον Πίνακα 12-17 παρουσιάζονται τα εμβαδά που βρέθηκαν, των αδιαπέρατων (impervious) επιφανειών, των διαπερατών (pervious) επιφανειών και των επιφανειών συλλογής βρόχινου νερού (rain harvesting area), ανά τύπο κτιρίου. Τα εμβαδά των διαπερατών και αδιαπέρατων επιφανειών έχει γίνει προσπάθεια να υπολογιστούν, προσεγγιστικά, με την ακόλουθη μέθοδο.

Λαμβάνουμε δορυφορικές εικόνες του νησιού και των οικισμών, με τη βοήθεια του προγράμματος «Google Earth», τις μεταφέρουμε στο πρόγραμμα σχεδίασης «Autocad». Ακολουθεί κατάλληλη επεξεργασία, ώστε με τη βοήθεια της κλίμακας της εικόνας, να ορίσουμε την επιθυμητή μονάδα μήκους του σχεδιαστικού προγράμματος (m). Έπειτα, επιλέγουμε κάποια τυπικά κτίρια, τα οποία παράλληλα υποθέτουμε ότι ανήκουν σε έναν από τους τρεις τύπους (μόνιμης κατοικίας, παραθεριστικής κατοικίας, ξενοδοχείο) της προσομοίωσής μας, με κριτήρια είτε γεωγραφικής τοποθεσίας, είτε μορφής και σε συνδυασμό με την κατοίκηση κάθε τύπου¹¹. Οπότε, με δειγματοληπτικές επιλογές και υπολογισμούς των επιφανειών (αδιαπέρατων και περατών) των κτιρίων αυτών, καταλήγουμε στις επιφάνειες που εισάγουμε στην προσομοίωσή μας.

¹⁰ Επιλέγουμε και το αποκαλούμε «τύπο κτιρίου» επειδή ένα ξενοδοχείο για παράδειγμα δεν μπορεί να αποκαλεστεί - κατά την άποψη του γράφοντος - «νοικοκυριό» ή «σπιτικό».

¹¹ Οι δορυφορικές εικόνες όταν έγινε η λήψη από το γράφοντα δεν ήταν πολύ καθαρές, λόγω σχετικά μικρής δυνατότητας εστίασης. Επέτρεπαν ωστόσο μία ικανοποιητική προσέγγιση. Βέβαια, δεν είναι καθόλου εύκολο να ξεχωρίσει κανείς τα όρια ενός νοικοκυριού από το δημόσιο χώρο, αλλά αυτό δεν έχει και τόσο μεγάλη σημασία στους υπολογισμούς μας.

Πίνακας 12-17 Εκτίμηση εμβαδών επιφανειών (περατών, αδιαπέρατων, συλλογής βροχής).

Λιμενάρια	Τύπος μόνιμης κατοικίας	Τύπος παραθεριστικής κατοικίας	Τύπος Ξενοδοχείου
Occurpency	2,84	2,88	0,00
IMPERVIOUS AREA (m ²)	140	140	0
PERVIOUS AREA (m ²)	45	45	0
RAIN HARVESTING AREA (m ²)	55	55	0
Μεγαλοχώρι	Τύπος μόνιμης κατοικίας	Τύπος παραθεριστικής κατοικίας	Τύπος Ξενοδοχείου
Occurpency	2,98	2,88	25,14
IMPERVIOUS AREA (m ²)	145	160	500
PERVIOUS AREA (m ²)	45	80	70
RAIN HARVESTING AREA (m ²)	60	70	165
Σκάλα	Τύπος μόνιμης κατοικίας	Τύπος παραθεριστικής κατοικίας	Τύπος Ξενοδοχείου
Occurpency	2,88	2,88	24,77
IMPERVIOUS AREA (m ²)	160	160	400
PERVIOUS AREA (m ²)	250	250	170
RAIN HARVESTING AREA (m ²)	65	65	135

12.4.3 Εκτίμηση των Επιφανειών των Δημόσιων Χώρων

Στο πρόγραμμα UWOT, ωστόσο, τα εμβαδά των τριών αυτών τύπων επιφανειών (αδιαπέρατων, περατών και συλλογής βρόχινου νερού) ζητούνται και όσον αφορά το δημόσιο χώρο. Τέτοιες επιφάνειες είναι οι περατές και αδιαπέρατες επιφάνειες που ανήκουν σε δημόσιους χώρους (π.χ. οδοί, χώροι πρασίνου), ή ακόμα οι επιφάνειες των στεγών κτιρίων, για τα κτίρια τα οποία δεν έχουν συνυπολογιστεί ως ξεχωριστός τύπος κτιρίου στην προσομοίωση.

Ο υπολογισμός των επιφανειών αυτών πραγματοποιείται σε συνέχεια της προαναφερθείσας διαδικασίας. Αρχικά, υπολογίζουμε τις συνολικές εκτάσεις (περατές, αδιαπέρατες), που αντιστοιχούν σε ολόκληρους τους οικισμούς. Ξεκινάμε με τον υπολογισμό της συνολικής (μεικτής) έκτασης των οικισμών (συνολικός αστικός χώρος, περατή και αδιαπέρατη επιφάνεια σε κάτοψη), η οποία εκτιμάται 591529 m² (Μεγαλοχώρι 231535 m², Λιμενάρια 41145 m², Σκάλα 318849 m²). Ακολουθώντας, χωρίζουμε κάθε οικισμό (λόγω της αραιής διάταξης) σε αστικές ενότητες σε μια προσπάθεια να προσεγγιστεί η συνολική δομημένη έκταση, που αποτελεί παράλληλα τη συνολική αδιαπέρατη επιφάνεια. Αυτή εκτιμάται 136562 m² (Μεγαλοχώρι 60825 m², Λιμενάρια 9237 m², Σκάλα 66500 m²). Η περατή επιφάνεια είναι η υπόλοιπη από τη συνολική. Η επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού υπολογίζεται ως το 35% της αστικής δόμησης, σε κάθε οικισμό και με την πράξη αυτή βρίσκεται συνολικά 47797 m² (Μεγαλοχώρι 21289 m², Λιμενάρια 3233 m², Σκάλα 23275 m²). Σημειώνεται βέβαια, ότι σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. (Πίνακας 12-2), ο αστικός χώρος του νησιού Αγκίστρι εκτιμάται 0,4 km² = 400000 m² (απόκλιση 47,8%). Μπορεί να υποθεθεί όμως, ότι η απόκλιση αυτή οφείλεται σε υπερεκτίμηση από μέρους μας της υπαίθριας περιαστικής έκτασης (pervious area), αλλά και ότι από τότε που διεξήχθη η μελέτη εκείνη, έχει αυξηθεί ο αστικός χώρος στο νησί, το οποίο είναι και αναμενόμενο.

Έχοντας πλέον ως δεδομένες τις συνολικές αυτές επιφάνειες και έχοντας υπολογίσει τις επιφάνειες (διαπέρατες, αδιαπέρατες, συλλογής βροχής) κάθε τύπου κτιρίου, με δεδομένο και το πλήθος των κτιρίων κάθε τύπου, είναι πλέον εφικτή μια προσεγγιστική εκτίμηση των δημόσιων επιφανειών. Από τις συνολικές επιφάνειες αφαιρούμε το γινόμενο των επιφανειών κάθε τύπου κτιρίου επί το πλήθος των κτιρίων του αντίστοιχου τύπου, για το

συγκεκριμένο οικισμό. Τα αποτελέσματα των αφαιρέσεων αυτών από τις συνολικές επιφάνειες, δηλαδή οι εν λόγω εκτάσεις του δημόσιου χώρου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 12-18¹².

Πίνακας 12-18 Εκτίμηση εμβαδών επιφανειών δημόσιων χώρων.

	PUBLIC AREAS		
	IMPERVIOUS AREA (m ²)	PERVIOUS AREA (m ²)	RAIN HARVESTING AREA (m ²)
Μεγαλοχώρι	12697	153259	1497
Λιμενάρια	1257	29343	98
Σκάλα	7620	187649	1005

Σημειώνεται ότι οι εκτάσεις των επιφανειών αυτών (είτε ανά τύπο κτιρίου είτε δημόσιων) πρέπει να συμπληρωθούν και στα προηγούμενα σενάρια έτσι ώστε να καταστεί εφικτή μια συνολικότερη σύγκριση μεταξύ των σεναρίων (π.χ. απορροή ομβρίων) και όχι μόνο επί της εξοικονόμησης νερού.

12.4.4 2^ο Εναλλακτικό Σενάριο: Μέγιστη Εξοικονόμηση νερού, Κεντρικά Συστήματα

Στο σενάριο αυτό υιοθετείται σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού και σύστημα αξιοποίησης βρόχινου νερού σε κεντρικό επίπεδο, για όλους τους κτιριακούς τύπους. Το γκρι νερό συλλέγεται από όλα τα κτίρια, μετατρέπεται ύστερα από επεξεργασία σε «πράσινο» νερό και είναι διαθέσιμο για επαναχρησιμοποίηση. Πράσινο είναι και το νερό της βροχής που συλλέγεται σε κεντρικό επίπεδο, από όλα τα κτίρια της προσομοίωσης και τις επιφάνειες των δημόσιων χώρων από όπου μπορεί να συλλεχθεί. Για κανένα τύπο κτιρίου δεν προβλέπεται τοπική εφαρμογή. Όπως έχουμε δει και σε άλλο κεφάλαιο, με τα ομαδοποιημένα συστήματα γκρι νερού μπορούμε να επιτύχουμε οικονομία κλίμακας και για το λόγο αυτό είναι μερικές φορές προτιμότερα. Ο συνδυασμός γκρι και βρόχινου νερού αναμένεται να καλύψει ένα πολύ σημαντικό μέρος της ζήτησης πράσινου νερού.

12.4.4.1 Διαστασιολόγηση Δεξαμενών 2^{ου} Σεναρίου

Στον Πίνακα 12-19 παρουσιάζονται οι όγκοι των δεξαμενών, όπως τους έχουμε θέσει στην προσομοίωση, για το 2^ο εναλλακτικό σενάριο. Οι όγκοι των δεξαμενών τίθενται με κριτήριο τη μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του γκρι και του βρόχινου νερού. Ύστερα επιλέγεται ο μικρότερος όγκος που ικανοποιεί το προηγούμενο κριτήριο, προφανώς για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος.

Σε κάθε οικισμό θέτουμε μία κεντρική δεξαμενή πράσινου νερού (γκρι επεξεργασμένου και βρόχινου) από όπου το νερό αντλείται για να επαναχρησιμοποιηθεί. Το χειμώνα, ο πληθυσμός στο Αγκίστρι είναι κατά πολύ μειωμένος, άρα και η ζήτηση σε νερό. Παράλληλα όμως, αυτή είναι η περίοδος με τις μεγαλύτερες βροχοπτώσεις, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων πράσινου νερού. Οπότε, για να

¹² Επιλέγεται, οι όροι να παρουσιάζονται στην αγγλική γλώσσα, επειδή έτσι εμφανίζονται και στο πρόγραμμα.

αξιοποιηθεί όμως αργότερα όλος αυτός ο όγκος, απαιτείται μεγάλης χωρητικότητας δεξαμενή.

Για το λόγο αυτό παρατηρούμε ότι η πράσινη κεντρική δεξαμενή στον οικισμό Σκάλα είναι αρκετά μεγαλύτερη από ό,τι στο Μεγαλοχώρι. Στη Σκάλα υπάρχει σχετικά μεγάλη δόμηση, άρα υπάρχει μεγάλη δυνατότητα εκμετάλλευσης νερού για τη μεγάλη υδατική ζήτηση του καλοκαιριού και παράλληλα ζει μικρότερος πληθυσμός το χειμώνα. Έτσι, προκύπτει μεν μια ογκωδέστερη δεξαμενή από ό,τι στο Μεγαλοχώρι, η θερινή περίοδος δε ξεκινάει για τη Σκάλα έχοντας ένα αρκετά σημαντικό υδατικό απόθεμα (initial condition), το οποίο θα εξαντληθεί σε 45 περίπου ημέρες (πληροφορία μέσα από το UWOT). Αντιθέτως, στο Μεγαλοχώρι, το νερό της βροχής έχει σχεδόν εξαντληθεί όταν ξεκινάει η θερινή περίοδος της προσομοίωσής μας. Ο όγκος εκκίνησης (initial condition) των κεντρικών δεξαμενών την περίοδο του χειμώνα τίθεται μηδέν, παρόλο που στο ομοίωμά μας, προς το τέλος της θερινής περιόδου πραγματοποιείται βροχόπτωση και υπάρχει στη δεξαμενή διαθέσιμος όγκος. Διευκρινίζουμε ότι όταν αναφέρουμε ότι εξαντλείται το υδατικό απόθεμα της δεξαμενής το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί με την επαναχρησιμοποίηση του γκρι νερού, αδυνατώντας όμως να καλύψει ολόκληρη τη ζήτηση σε πράσινο νερό.

Ακόμη, τίθενται κάποιες μικρότερες δεξαμενές, τοπικά σε κάθε κτιριακή μονάδα. Ο ρόλος των δεξαμενών αυτών είναι να εξασφαλίζουν σε κάθε χρονικό βήμα την απαιτούμενη ποσότητα πράσινου νερού του κτιρίου που ανήκουν, αντλώντας την από την κεντρική δεξαμενή (εφόσον είναι διαθέσιμη η ποσότητα αυτή). Ο όγκος του φλοτέρ πράσινου νερού τίθεται ίσος με το μέγιστο όγκο της τοπικής δεξαμενής, διότι δεν υπάρχει κάποιο τοπικό σύστημα από όπου θέλουμε να εκμεταλλευτούμε νερό. Οπότε, δεν υπάρχει ανάγκη να αφεθεί ελεύθερος όγκος, αλλά θέλουμε να εκμεταλλευτούμε ολόκληρη την τοπική δεξαμενή. Το χειμώνα ο όγκος του φλοτέρ τίθεται μηδενικός για τις παραθεριστικές κατοικίες και τα ξενοδοχεία, έτσι ώστε να μην διοχετεύεται καθόλου νερό εντός των δεξαμενών αυτών.

12.4.4.2 Πίνακας του 2^{ου} Σεναρίου

Στον Πίνακα 12-19 εκτός από τους όγκους των δεξαμενών, δίνονται για λόγους εποπτικών και οι κωδικοί με τους οποίους δηλώνονται οι επιλεγμένοι τύποι συστημάτων. Η δομή του πίνακα είναι όμοια με τη φόρμα συμπλήρωσης των στοιχείων αυτών στο UWOT. Στο πεδίο «RECYCLE SCHEME FLAGS», με την ένδειξη «2» δηλώνεται ο κεντρικός χαρακτήρας του συστήματος, ενώ με την ένδειξη «0» δηλώνεται ότι δεν υιοθετείται το αντίστοιχο σύστημα εξοικονόμησης, στον αντίστοιχο τύπο κτιρίου. Σημειώνεται ότι οι συσκευές υδατικής χρήσεως και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του 1^{ου} εναλλακτικού σεναρίου παραμένουν ως έχουν και απλώς τα νέα συστήματα του σεναρίου αυτού προστίθενται. Το ίδιο ισχύει και για το επόμενο σενάριο.

Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και πάλι, για εποπτικούς λόγους, τα εμβαδά των επιφανειών από τις οποίες συλλέγεται βρόχινο νερό (ανά τύπο κτιρίου, αλλά και των δημόσιων χώρων κάθε οικισμού). Δίνονται ακόμη οι επιλεγμένοι κωδικοί των μονάδων κεντρικής επεξεργασίας, συνοδευόμενοι εντός παρενθέσεως με τον όγκο επεξεργασίας ανά χρονικό βήμα.

Πίνακας 12-19 Όγκοι Δεξαμενών και κωδικό ένδειξης του τύπου του συστήματος, για το Σενάριο 2.

	Σενάριο 2: Μέγιστη Εξοικονόμηση νερού - Κεντρικά Συστήματα								
	ΛΙΜΕΝΑΡΙΑ			ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ			ΣΚΑΛΑ		
	Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία	Ξενοδοχείο	Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία	Ξενοδοχείο	Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία	Ξενοδοχείο
Rain Harvesting Area (m²)									
Τοπικά ανα τύπο κτίριου	55	55		60	70	165	65	65	135
Δημόσιος Χώρος	98			1497			1005		
RECYCLE SCHEME FLAGS									
Greywater Recycling	2	2		2	2	2	2	2	2
Rainwater Recycling	2	2		0	0	0	0	0	0
HOUSEHOLD TANK CAPACITIES									
Green Tank Cap. (L)	86	94		90	94	729	77	94	862
Green floater (L)	86	94 (θέτουμε 0 το χειμώνα)		90	94 (θέτουμε 0 το χειμώνα)	729 (θέτουμε 0 το χειμώνα)	77	94 (θέτουμε 0 το χειμώνα)	862(θέτουμε 0 το χειμώνα)
RESERVOIR CAPACITIES									
Green (L)	328260			1996224			2970602		
Initial condition (Μόνο αρχή θερινής περιόδου)	0			36644			1689743		
CENTRAL TECHNOLOGIES									
Rain Treatment	2: (150000 L/12h)			5: (400000 L/12h)			8: (900000 L/12h)		
Grey Treatment	1: (15000 L/12h)			3: (30000 L/12h)			5: (100000 L/12h)		

12.4.5 3^ο Εναλλακτικό Σενάριο: Τοπικά Συστήματα (Onsite systems)

Στο τρίτο εναλλακτικό σενάριο του υδατικού ομοιώματός μας, μελετάμε ένα συνδυασμό συστημάτων γκρι και βρόχινου νερού, σε τοπικό (onsite) επίπεδο¹³. Συγκεκριμένα, επιλέγουμε τοπικό σύστημα συλλογής και χρήσης βρόχινου νερού για τις μόνιμες και τις παραθεριστικές κατοικίες και τοπικό σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού μόνο για τα ξενοδοχεία.

Στο σενάριο αυτό προστίθεται (σε σχέση με το σενάριο 1) και μία τοπική μονάδα επεξεργασίας γκρι νερού σε κάθε ξενοδοχείο. Προφανώς, τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού των ξενοδοχείων θα λειτουργούν μόνο τη θερινή περίοδο. Υπενθυμίζεται ακόμη ότι στα Λιμενάρια δεν έχουμε ξενοδοχεία, οπότε, στον οικισμό αυτό και για το σενάριο αυτό, θα έχουμε μόνο συστήματα αξιοποίησης της βροχής.

Τα συστήματα βρόχινου νερού συλλέγουν νερό ολόκληρη την περίοδο του χειμώνα, ανεξαρτήτως του γεγονότος ότι οι παραθεριστικές κατοικίες δεν κατοικούνται την περίοδο αυτή. Απλώς, στις παραθεριστικές κατοικίες θα γίνουν μεγαλύτερες οι δεξαμενές από ό,τι στις μόνιμες κατοικίες, όπου παράλληλα με τη συλλογή γίνεται και χρήση, οπότε δεν απαιτούνται μεγάλης χωρητικότητας δεξαμενές. Εδώ θεωρούμε ότι για το νερό της βροχής δεν απαιτείται κάποιο στάδιο επεξεργασίας, αλλά χαρακτηρίζεται αυτομάτως ως «πράσινο».

Στο σενάριο αυτό, ναι μεν το νερό της βροχής δεν αναμένεται να καλύπτει εξολοκλήρου τη ζήτηση σε πράσινο νερό, με αποτέλεσμα να συμπληρώνεται πόσιμο νερό, όμως γίνεται οικονομία σε έργα υποδομών. Για παράδειγμα σε αυτό το σενάριο δεν απαιτούνται έργα κατασκευής δικτύων, όπως στο σενάριο 2. Επίσης, στο σενάριο αυτό δεν απαιτείται να μεταφερθεί το νερό σε μεγάλη απόσταση – σε αντίθεση με το σενάριο 2 – διανύοντας δύο διαδρομές¹⁴ που έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για τη μεταφορά αυτή. Παράλληλα, εκμεταλλευόμαστε μια εύκολα αποκτήσιμη ποσότητα νερού, που μπορεί

¹³ Σημειώνεται ότι οι συσκευές υδατικής χρήσεως και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του 1^{ου} εναλλακτικού σεναρίου παραμένουν ως έχουν και απλώς τα νέα συστήματα του σεναρίου αυτού προστίθενται.

¹⁴ Μία διαδρομή μέχρι την κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας και τουλάχιστον άλλη μία για την επαναφορά του νερού στο σημείο επαναχρησιμοποίησης.

να χρησιμοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερο κόστος επεξεργασίας¹⁵. Αξίζει να αναφερθεί ακόμα, ότι η παραγόμενη ποσότητα γκρι νερού από το ξενοδοχείο επαρκεί για την κάλυψη ολόκληρης της ζήτησης του ξενοδοχείου σε πράσινο νερό, ως εκ τούτου, δεν έχει νόημα για το ξενοδοχείο η κατασκευή και λειτουργία μεγαλύτερων δεξαμενών, για τη συλλογή και του βρόχινου νερού.

12.4.5.1 Διαστασιολόγηση Δεξαμενών 3^{ου} Σεναρίου

Η διαστασιολόγηση των δεξαμενών συλλογής νερού (βρόχινου, γκρι και πράσινου) γίνεται με κριτήριο τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση νερού (βάσει των συνθηκών που έχουμε καθορίσει), με κατάληψη όσο το δυνατόν μικρότερου όγκου. Στο σενάριο αυτό όλες οι δεξαμενές εφαρμόζονται σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή κάθε τύπος κτιρίου έχει τη δική του αυτόνομη δεξαμενή (εξαιρούνται οι κεντρικές δεξαμενές συλλογής των λυμάτων μαύρου νερού που έχουν τεθεί από το σενάριο 1). Στον Πίνακα 12-20 παρουσιάζονται τα μεγέθη όγκου (σε λίτρα) των δεξαμενών που έχουν τεθεί, μαζί με τους κωδικούς που δηλώνουν τον τύπο του συστήματος.

Σε κάθε ξενοδοχείο, θέτουμε μία τοπική δεξαμενή γκρι νερού και μία δεξαμενή πράσινου νερού, από όπου γίνεται στη συνέχεια η άντληση για την επαναχρησιμοποίηση. Σε κάθε κτιριακή μονάδα μόνιμης και παραθεριστικής κατοικίας τίθεται μια δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού.

Ακολουθεί το πεδίο του φλοτέρ της πράσινης δεξαμενής (Green floater), μέσω του οποίου καθορίζεται ο όγκος μέχρι τον οποίο γεμίζει μια τοπική πράσινη δεξαμενή που αντλεί νερό από κάποια κεντρική δεξαμενή, προκειμένου να αφήσει διαθέσιμο όγκο για να εισρεύσει νερό και από κάποια τοπική εφαρμογή (π.χ. συλλογή βρόχινου νερού). Στο σενάριο αυτό δεν χρησιμοποιείται τέτοιο φλοτέρ διότι δεν αντλείται νερό από κάποια κεντρική μονάδα.

Στα επόμενα πεδία τίθενται οι όγκοι νερού – γκρι και πράσινου (Tank ini condition) – που είναι αποθηκευμένοι κατά την έναρξη της εφαρμογής. Στο σενάριό μας είναι σημαντικό να προσέξουμε, ότι οι δεξαμενές πράσινου νερού των παραθεριστικών κτιριακών τύπων συλλέγουν νερό καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα, ώστε με το διαθέσιμο αυτό όγκο να καλυφθεί μέρος ή ολόκληρη η ζήτηση που μπορεί να καλύψει το νερό αυτό, το καλοκαίρι¹⁶. Διαπιστώνεται, κατά τη χρήση του προγράμματος, ότι το νερό που μπορεί να συλλεχθεί από τη βροχή είναι υπεραρκετό (σχεδόν διπλάσιο) σε σχέση με τη ζήτηση του νερού αυτού, από τους παραθεριστές και ως εκ τούτου, έχει τεθεί αρκετά μικρότερη η δεξαμενή, ώστε να συλλέγει όσο νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Στον τύπο μόνιμης κατοικίας, έχουν εξαντληθεί τα αποθέματα μέχρι την έναρξη της θερινής περιόδου της προσομοίωσής μας, λόγω της διαρκούς χρήσης. Για το λόγο αυτό, δεν εμφανίζεται κάποιος διαθέσιμος αρχικός όγκος στο αντίστοιχο πεδίο.

¹⁵ Εμείς εδώ δεν θέτουμε κάποιο είδος επεξεργασίας, μερικές φορές όμως χρησιμοποιούνται κάποια φυσικά μέσα επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα κάποια φίλτρα.

¹⁶ Το πεδίο του πίνακα, που αφορά τον αρχικό όγκο της πράσινης δεξαμενής της παραθεριστικής κατοικίας, έχει συμπληρωθεί μόνο στα ομοιώματα που αντιστοιχούν στη θερινή περίοδο. Στην αρχή της χειμερινής περιόδου θεωρούμε ότι η δεξαμενές είναι άδειες, παρόλο που στο παράδειγμά μας, στο τέλος του καλοκαιριού, υπάρχει διαθέσιμος όγκος νερού, εξαιτίας βροχόπτωσης που είχε προηγηθεί (βλ. Πιν Β-1, Χρονοσειρά Βροχόπτωσης).

12.4.5.2 Πίνακας του 3^{ου} Σεναρίου

Ακολουθεί ο όμοιος πίνακας (Πίνακας 12-20) της φόρμας συμπλήρωσης του UWOT, με τις πληροφορίες και τα μεγέθη όπως τέθηκαν στην προσομοίωση. Στο πεδίο «RECYCLE SCHEME FLAGS» με την ένδειξη «1» δηλώνεται το τοπικό επίπεδο της αντίστοιχης εφαρμογής, στο συγκεκριμένο τύπο κτιρίου, ενώ με την ένδειξη «0» δηλώνεται ότι δεν υιοθετείται το αντίστοιχο σύστημα. Οι υπερχειλίσεις των δεξαμενών του σεναρίου αυτού αποχετεύονται στο κεντρικό δίκτυο ακαθάρτων (μαύρου νερού).

Ακόμη, αναφέρουμε ότι ο τύπος της μονάδας επεξεργασίας γκρι νερού για τα ξενοδοχεία, επιλέχθηκε με κριτήριο τη δυνατότητα επεξεργασίας όλου του ζητούμενου όγκου γκρι και μετέπειτα πράσινου νερού και δευτερευόντως την οικονομικότητα της μονάδας αυτής. Έτσι, από τη Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών επιλέχθηκε ο τύπος «5: AquaCycle-2400».

Πίνακας 12-20 Όγκοι Δεξαμενών και κωδικοί ένδειξης του τύπου του συστήματος, για το Σενάριο 3

	Σενάριο 3: Τοπικά Συστήματα								
	ΛΙΜΕΝΑΡΙΑ			ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ			ΣΚΑΛΑ		
	Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία		Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία	Ξενοδοχείο	Μόνιμη Κατοικία	Παραθεριστική Κατοικία	Ξενοδοχείο
RAIN HARVESTING AREA (m²)									
Τοπικά ανα τύπο κτιρίου	55	55		60	70	165	65	65	135
Δημόσιος Χώρος	98			1497			1005		
RECYCLE SCHEME FLAGS									
Greywater Recycling	0	0		0	0	1	0	0	1
Rainwater Recycling	1	1		1	1	0	1	1	0
HOUSEHOLD TANK CAPACITIES									
Grey Tank Capacity (L)	0	0		0	0	901	0	0	888
Green Tank Cap. (L)	4416	9959		4827	9959	874	5694	9959	862
Green Tank ini condition (L)(Μόνο αρχή θερινής περιόδου)	0	9959		0	9959	0	0	9959	0
Treatment	0	0		0	0	5 (2000 L/use)	0	0	5 (2000 L/use)

12.5 Αποτελέσματα της Προσομοίωσης με το UWOT

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα αποτελέσματα της προσομοίωσής μας, για τα 4 σενάρια. Τα μεγέθη στα οποία εστιάζουμε είναι η συνολική (και ξεχωριστά η κατά άτομο) κατανάλωση πόσιμου νερού (Potable, hm³), η μέγιστη παροχή της απορροής ομβρίων (maxRunoff, m³ ανά χρονικό βήμα), η μέση παροχή λυμάτων (Meanwaste, m³ ανά χρονικό βήμα), η κατανάλωση ενέργειας (Energy, kWh), η έκταση γης που καταλαμβάνεται (Land use m²), το κόστος κεφαλαίου (Capcost, Μ€), το κόστος λειτουργίας (Opcost, Μ€). Σύγκριση γίνεται και πάνω σε μερικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, που είναι οι επιπτώσεις στην υγεία (Health), η κοινωνικής αποδοχή (Acceptability) και η αξιοπιστία (Reliability)¹⁷.

Για να διευκολυνθεί η σύγκριση των σεναρίων, επιλέγεται να παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εκτός από την αριθμητική τους μορφή και με γραφική μορφή. Στην κατεύθυνση της ολοκληρωμένης σύγκρισης μεταξύ των μελετώμενων σεναρίων, εξυπηρετεί η χρήση των αραχνοειδών διαγραμμάτων, αφού προηγηθεί ένα στάδιο κανονικοποίησης των αριθμητικών αποτελεσμάτων. Σε κάποιες περιπτώσεις, στη σύγκριση αυτή δεν εντάσσονται κάποια μεγέθη, εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς που παρουσιάζουν σε διάφορα σενάρια, σε σχέση με τις διαφορές των υπόλοιπων μεγεθών, δυσχεραίνοντας την

¹⁷ Επισημαίνεται ότι τα πρώτα μεγέθη, τα οποία παράλληλα είναι ποσοτικά, είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιούνται από το επιλεγμένο μελετώμενο σενάριο. Αντιθέτως, τα ποιοτικά μεγέθη είναι επιθυμητό να λαμβάνουν όσο το δυνατόν υψηλότερη τιμή (λόγω του τρόπου κατασκευής του UWOT).

ανάγνωση των γραφημάτων. Στα σενάρια «0» και «1», το μέγεθος της χρήσης γης (Land use) παρουσιάζει μεγάλη διαφορά, εξαιτίας της εισαγωγής των εγκαταστάσεων αποχέτευσης και επεξεργασίας ακαθάρτων (μεικτών λυμάτων) στο σενάριο «1», οι οποίες δεν υπάρχουν στο σενάριο «0». Για τον ίδιο λόγο, παρουσιάζεται ξεχωριστό γράφημα για τη σύγκριση του κόστους κεφαλαίου των σεναρίων που έχουν προσομοιωθεί, κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους του σεναρίου «2», όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Ακολουθεί η παράθεση των αριθμητικών αποτελεσμάτων και τα αντίστοιχα γραφήματα. Ξεχωριστή αναφορά θα γίνει για τη σύγκριση των σεναρίων όσον αφορά την ατομική υδατική κατανάλωση, κατά οικισμό και για όλο το νησί, αλλά και το συνολικό ετήσιο όγκο κατανάλωσης. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι γίνεται η υπόθεση ότι η συνολική ζήτηση νερού (πόσιμου και πράσινου) παραμένει σταθερή, ανεξαρτήτως του χρησιμοποιούμενου συστήματος.

12.5.1 Ολοκληρωμένη Σύγκριση Σεναρίων

Ολοκληρωμένη ονομάζουμε τη σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων, διότι η σύγκριση γίνεται σε πολλές παραμέτρους, οι οποίες μπορεί να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και κάποιες φορές η βελτίωση ενός μεγέθους (είτε ποσοτικού, είτε ποιοτικού), εξαιτίας κάποιας εναλλακτικής επιλογής στο σύστημα, έχει αρνητική επίδραση σε ένα άλλο μέγεθος. Παρατίθενται τα αποτελέσματα για κάθε οικισμό αναλυτικά, ξεχωριστά για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο (Πίνακας 12-21, Πίνακας 12-23, Πίνακας 12-25), όπως επίσης και συνολικά για όλο το έτος (Πίνακας 12-22, Πίνακας 12-24, Πίνακας 12-26). Τα γραφήματα όμως που δίνονται, αναφέρονται στα ετήσια αποτελέσματα μόνο (Σχήμα 12-12, Σχήμα 12-13, Σχήμα 12-15, Σχήμα 12-16, Σχήμα 12-18, Σχήμα 12-19). Το κόστος κεφαλαίου κάθε σεναρίου για κάθε οικισμό παρουσιάζεται και γραφικά (Σχήμα 12-14, Σχήμα 12-17, Σχήμα 12-20).

12.5.1.1 Λιμενάρια

Στο Σενάριο «1» υπενθυμίζουμε ότι εισάγουμε - σε σχέση με το σενάριο «0» (υφιστάμενης κατάστασης) - συσκευές εξοικονόμησης νερού («έξυπνες συσκευές») και για τον συγκεκριμένο οικισμό, αντί για μεγάλη κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων προτιμήσαμε μία μικρότερη, μόνο για γκρι νερό, λόγω των μικρών απαιτήσεων του οικισμού και της μη διαθεσιμότητας αντίστοιχου επιπέδου εγκατάστασης στη «Βιβλιοθήκη Υδατικών Τεχνολογιών» .

Γίνεται εμφανές από το Σχήμα 12-12, ότι με τις αλλαγές αυτές σημειώνεται μία αισθητή μείωση της κατανάλωσης πόσιμου νερού. Η μέση παροχή λυμάτων σχεδόν μηδενίζεται, ενώ όπως είναι αναμενόμενο η προσθήκη εγκατάστασης επεξεργασίας έστω μόνο γκρι νερού έχει θετικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Αξίζει να αναφερθούμε και σε μια μικρή πτώση που εμφανίζεται στην κατανάλωση ενέργειας. Οι ποιοτικές παράμετροι της αξιοπιστίας και της κοινωνικής αποδοχής παρουσιάζουν ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα, για τις επιλογές του σεναρίου «1».

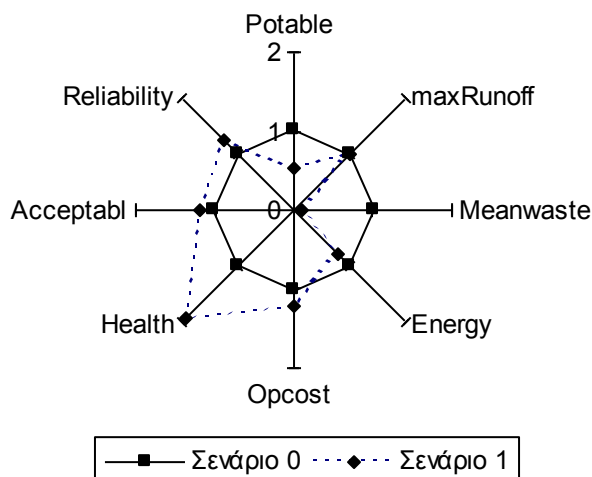
Πίνακας 12-21 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης του οικισμού Λιμενάρια, ξεχωριστά για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο.

Λιμενάρια	Χειμώνας				Καλοκαίρι			
	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Potable (hm3)	0,0051	0,0027	0,0013	0,0021	0,0020	0,0010	0,0007	0,0007
maxRunoff (m3/step)	487,7136	489,9713	337,7136	346,3676	323,2950	327,4366	210,1418	217,7116
Meanwaste (m3/step)	7,6148	0,8403	2,2589	0,8403	14,1483	1,4428	3,8620	1,4428
Energy (kWh)	73,6628	58,5064	56,5820	58,5064	28,0992	22,1247	21,4520	22,1247
Landuse (m ²)	0,0	50,0	107,5	50,0	0,0	50,0	107,5	50,0
Capcost (M€)	0,0390	0,2580	0,9762	0,3827	0,0390	0,2580	0,9762	0,3827
Opocost (M€)	0,0075	0,0091	0,0091	0,0091	0,0026	0,0033	0,0033	0,0033
Health	1,6364	3,1818	4,1818	3,1818	1,6364	3,1818	4,1818	3,1818
Acceptabl	2,5455	3,0455	3,5455	3,0455	2,5455	3,0455	3,5455	3,0455
Reliability	4,1818	5,1818	6,1818	5,1818	4,1818	5,1818	6,1818	5,1818

Πίνακας 12-22 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης του οικισμού Λιμενάρια, για όλο το έτος.

Λιμενάρια Ετήσια Αποτελέσματα	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Potable (hm3)	0,0070	0,0037	0,0020	0,0028
maxRunoff (m3/step)	487,7136	489,9713	337,7136	346,3676
Meanwaste (m3/step)	8,7246	0,9426	2,5312	0,9426
Energy (kWh)	101,7620	80,6312	78,0341	80,6312
Landuse (m ²)	0,0	50,0	107,5	50,0
Capcost (M€)	0,0390	0,2580	0,9762	0,3827
Opocost (M€)	0,0101	0,0124	0,0124	0,0124
Health	1,6364	3,1818	4,1818	3,1818
Acceptabl	2,5455	3,0455	3,5455	3,0455
Reliability	4,1818	5,1818	6,1818	5,1818

Λιμενάρια - Σύγκριση Σεναρίων "0" και "1"

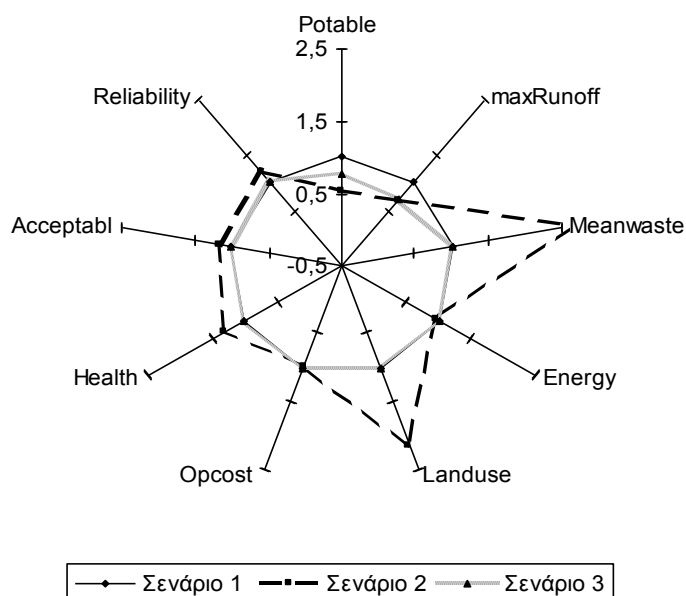


Σχήμα 12-12 Σύγκριση των σεναρίων «0» και «1» για τον οικισμό Λιμενάρια (χωρίς τα μεγέθη της χρήσης γης και του κόστους κεφαλαίου).

Στη σύγκριση των Σεναρίων «1», «2», και «3» (Σχήμα 12-13) μπορούμε να παρατηρήσουμε μία όμοια απεικόνιση των σεναρίων «1» και «3», όπου το σενάριο «3» (χρήση τοπικών

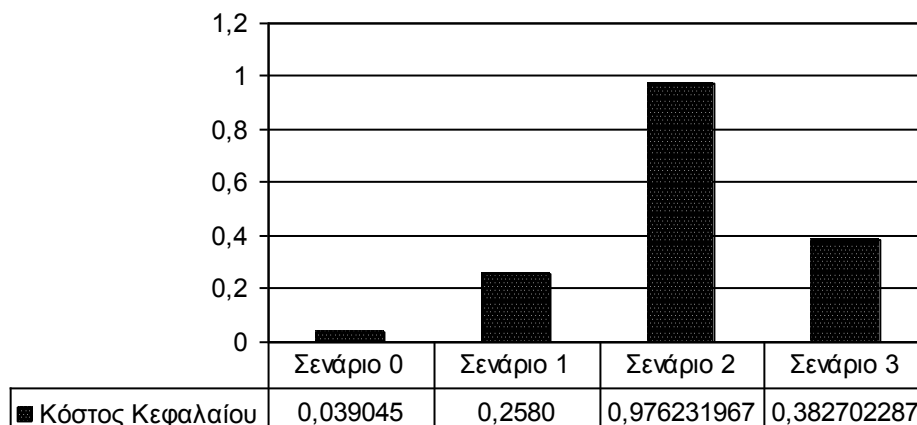
δεξαμενών βρόχινου νερού για μόνιμους κατοίκους και παραθεριστές και τοπικών συστημάτων γκρι νερού για τα ξενοδοχεία) εμφανίζει – όπως είναι και αναμενόμενο – μικρότερη κατανάλωση πόσιμου νερού, όπως επίσης και μικρότερη απορροή ομβρίων, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση πιθανών πλημμύρων. Το σενάριο «2» (χρήση κεντρικών συστημάτων βρόχινου και γκρι νερού) φαίνεται να ξεχωρίζει παρουσιάζοντας σαφώς μεγαλύτερη εξοικονόμηση από όλα τα σενάρια. Όμως, από ό,τι φαίνεται, απαιτεί αρκετά μεγαλύτερη έκταση γης για να εφαρμοστεί, ενώ αρκετά αυξημένη είναι και η μέση παροχή λυμάτων σε σχέση με τα σενάρια «1» και «3». Επίσης, η μεγάλη αυτή εξοικονόμηση νερού φαίνεται πως κοστίζει πολύ ακριβότερα σε κεφάλαιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 12-14.

Λιμενάρια - Σύγκριση Σεναρίων "1", "2" και "3"



Σχήμα 12-13 Σύγκριση των σεναρίων «1», «2» και «3» για τον οικισμό Λιμενάρια (χωρίς το μέγεθος του κόστους κεφαλαίου)

Λιμενάρια - Κόστος Κεφαλαίου (Μ€)



Σχήμα 12-14 Κόστος κεφαλαίου (Μ€) για κάθε σενάριο του οικισμού Λιμενάρια.

12.5.1.2 Μεγαλοχώρι

Στον οικισμό Μεγαλοχώρι εμφανίζεται όμοια η απόκριση των συγκρινόμενων μεγεθών με εκείνη στον οικισμό Λιμενάρια. Στο Σχήμα 12-15 εντάσσεται και το κόστος κεφαλαίου¹⁸, το οποίο παρουσιάζεται για όλα τα σενάρια στο Σχήμα 12-17. Τα αποτελέσματα του σεναρίου «2» είναι εντυπωσιακά, εις βάρος όμως της χρήσης γης και του κόστους κεφαλαίου. Σημειώνεται ότι στη συγκεκριμένη προσομοίωση (όπως και στην Σκάλας παρακάτω), όπου χρησιμοποιείται και εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων και όχι μόνο γκρι νερού, σημειώνεται μεγάλη πτώση της μέσης παροχής λυμάτων στο σενάριο «2», η οποία πτώση μάλιστα είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα 2 σενάρια. Ωστόσο, στην κατανάλωση ενέργειας και στο κόστος λειτουργίας τα τρία σενάρια δίνουν πολύ παρόμοια αποτελέσματα.

Το σενάριο «2» ξεχωρίζει εμφανώς και στις ποιοτικές παραμέτρους της αξιοπιστίας, της κοινωνικής αποδοχής και της δημόσιας υγείας, εν συγκρίσει με τα άλλα 2 σενάρια που παρουσιάζουν όμοια αποτελέσματα.

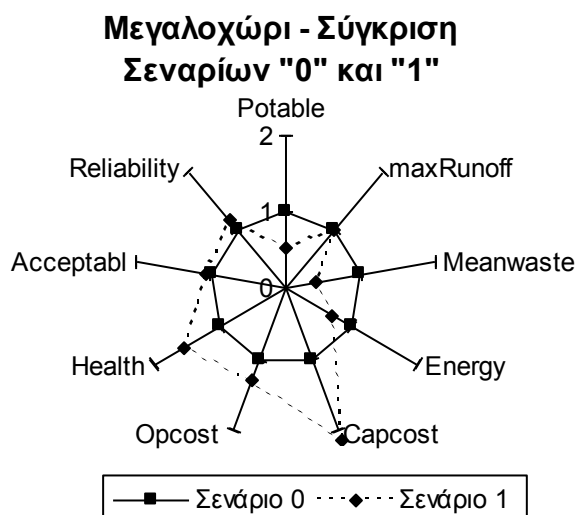
¹⁸ Στο αντίστοιχο σχήμα στα Λιμενάρια δεν έχει ενταχθεί. Το Μεγαλοχώρι αποτελεί μεγαλύτερο οικισμό, οπότε το πρόσθετο κόστος δεν είναι αναλογικά τόσο μεγάλο.

Πίνακας 12-23 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης του οικισμού Μεγαλοχώρι, ξεχωριστά για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο.

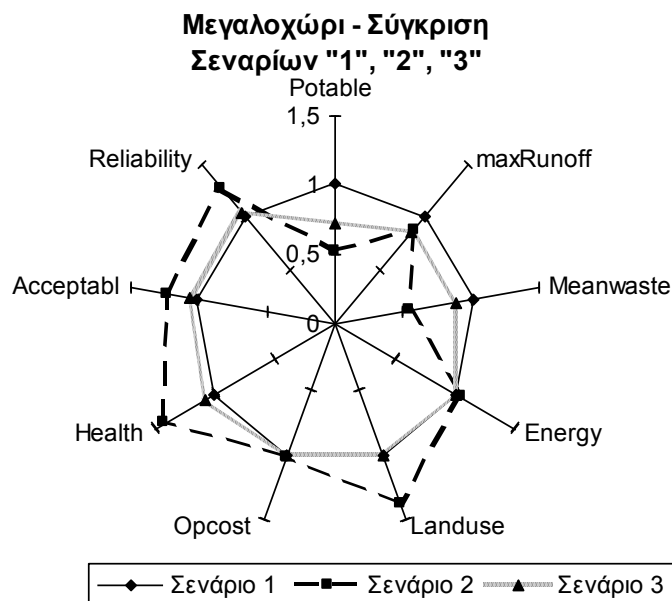
Μεγαλοχώρι	Χειμώνας				Καλοκαίρι			
	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Potable (hm3)	0,0214	0,0112	0,0045	0,0088	0,0161	0,0088	0,0059	0,0057
maxRunoff (m3/step)	3211,4217	3211,4217	2811,4217	2739,4090	2128,7833	2128,7833	1728,7833	1516,9864
Meanwaste (m3/step)	32,1767	12,2029	7,1588	12,2029	114,9886	49,7834	24,7994	37,2461
Energy (kWh)	311,2653	229,8778	239,1972	229,8778	289,8037	201,9001	210,0775	204,1395
Landuse (m ²)	2,3182	502,2727	689,7727	502,5455	2,3182	502,2727	689,7727	502,5455
Capcost (Μ€)	0,2369	0,5064	5,4715	1,8142	0,2369	0,5064	5,4719	1,8142
Opcost (Μ€)	0,0317	0,0398	0,0405	0,0398	0,0212	0,0286	0,0289	0,0288
Health	3,0909	4,8182	6,8182	5,1818	3,0909	4,8182	6,8182	5,1818
Acceptabl	4,2727	4,5909	5,5909	4,8636	4,2727	4,5909	5,5909	4,8636
Reliability	6,7273	7,7273	9,7273	8,0000	6,7273	7,7273	9,7273	8,0000

Πίνακας 12-24 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης του οικισμού Μεγαλοχώρι, για όλο το έτος.

Μεγαλοχώρι Ετήσια Αποτελέσματα	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Potable (hm3)	0,0375	0,0201	0,0104	0,0145
maxRunoff (m3/step)	3211,4217	3211,4217	2811,4217	2739,4090
Meanwaste (m3/step)	46,2434	18,5865	10,1553	16,4568
Energy (kWh)	601,0690	431,7779	449,2748	434,0173
Landuse (m ²)	2,3182	502,2727	689,7727	502,5455
Capcost (Μ€)	0,2369	0,5064	5,4719	1,8142
Opcost (Μ€)	0,0529	0,0685	0,0695	0,0686
Health	3,0909	4,8182	6,8182	5,1818
Acceptabl	4,2727	4,5909	5,5909	4,8636
Reliability	6,7273	7,7273	9,7273	8,0000

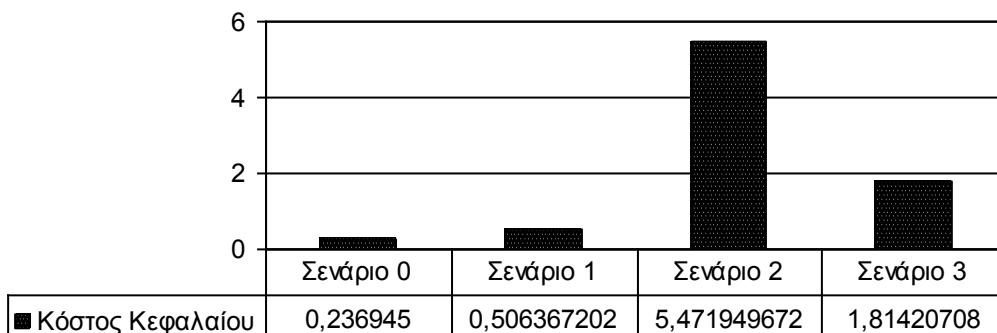


Σχήμα 12-15 Σύγκριση των σεναρίων «0» και «1» για τον οικισμό Μεγαλοχώρι.



Σχήμα 12-16 Σύγκριση των σεναρίων «1», «2» και «3» για τον οικισμό Μεγαλοχώρι

Μεγαλοχώρι - Κόστος Κεφαλαίου (Μ€)



Σχήμα 12-17 Κόστος κεφαλαίου (Μ€) για κάθε σενάριο του οικισμού Μεγαλοχώρι.

12.5.1.3 Σκάλα

Όμοια με την εικόνα του Μεγαλοχωρίου είναι και η εικόνα και για τον οικισμό Σκάλα. Παρατηρούμε γενικώς μια αρκετά βελτιωμένη εικόνα του σεναρίου «1» σε σχέση με αυτήν του σεναρίου «0». Ακόμη, παρατηρούμε ότι στους περισσότερους τομείς υπερέχει θεαματικά το σενάριο «2» των κεντρικών συστημάτων, εν τούτοις είναι πολύ μεγάλο και το αρνητικό αντίκτυπο στη χρήση γης και κυρίως στο κόστος κεφαλαίου.

Το σενάριο «3», φαίνεται να αποτελεί μια πιο ήπια ίσως και ρεαλιστικότερη λύση. Παρουσιάζει όμοια εικόνα με το σενάριο «1» στις περισσότερες παραμέτρους, υπερέχει εμφανώς σε σχέση με αυτό στην κατανάλωση νερού (κατά την έννοια της εξοικονόμησης), όμως είναι λογικό ότι και τα συστήματά του θα κοστίζουν και περισσότερο από αυτά του σεναρίου «1».

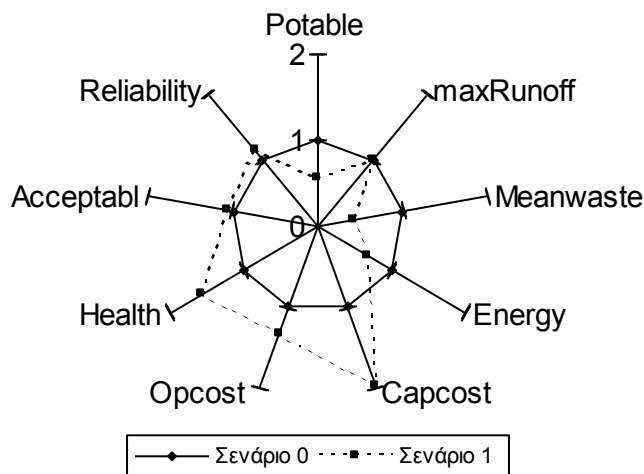
Πίνακας 12-25 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης του οικισμού Σκάλα, ξεχωριστά για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο.

Σκάλα	Χειμώνας				Καλοκαίρι			
	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Potable (hm3)	0,0162	0,0085	0,0033	0,0064	0,0344	0,0202	0,0118	0,0125
maxRunoff (m3/step)	3511,1999	3511,1999	2611,1999	3076,7439	2327,5000	2327,5000	1512,8750	1831,5602
Meanwaste (m3/step)	24,4184	9,2606	5,4327	9,2606	243,5193	108,3615	62,1233	78,6683
Energy (kWh)	236,2145	173,2161	181,8241	174,4508	742,1009	497,3000	519,8430	509,8537
Landuse (m ²)	2,3182	552,2727	808,8352	502,5455	2,3182	552,2727	808,8352	502,5455
Capcost (Μ€)	0,3692	0,7341	7,8497	2,1639	0,3692	0,7341	7,8502	2,1639
Opcost (Μ€)	0,0241	0,0291	0,0312	0,0302	0,0451	0,0624	0,0638	0,0625
Health	3,0909	4,8182	6,8182	5,1818	3,0909	4,8182	6,8182	5,1818
Acceptabl	4,2727	4,5909	5,5909	4,8636	4,2727	4,5909	5,5909	4,8636
Reliability	6,7273	7,7273	9,7273	8,0000	6,7273	7,7273	9,7273	8,0000

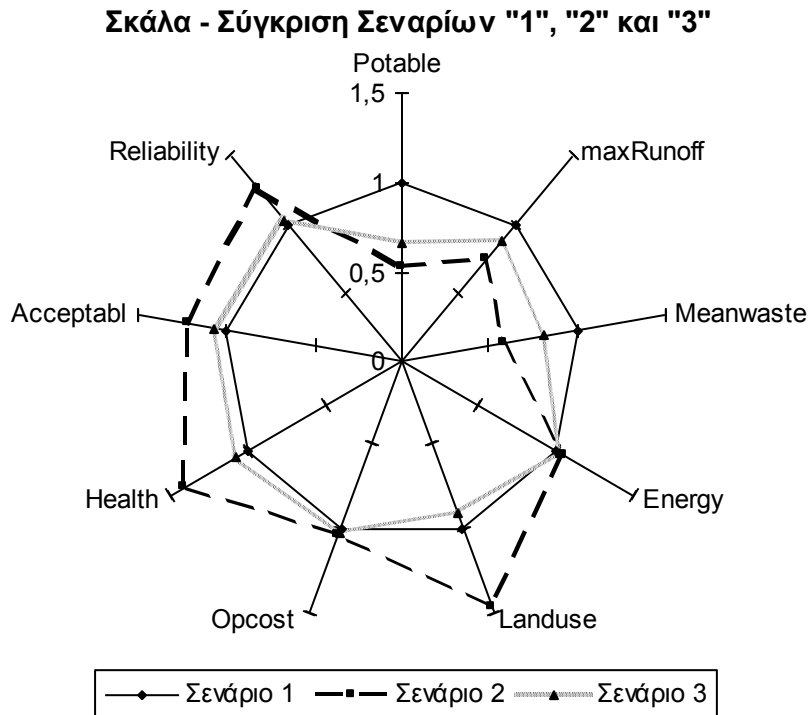
Πίνακας 12-26 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης του οικισμού Σκάλα, για όλο το έτος.

Σκάλα Ετήσια Αποτελέσματα	Σενάριο 0 (Υφιστάμενη Κατάσταση)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Potable (hm3)	0,0506	0,0287	0,0151	0,0190
maxRunoff (m3/step)	3511,1999	3511,1999	2611,1999	3076,7439
Meanwaste (m3/step)	61,6355	26,0942	15,0623	21,0504
Energy (kWh)	978,3154	670,5161	701,6670	684,3045
Landuse (m ²)	2,3182	552,2727	808,8352	502,5455
Capcost (Μ€)	0,3692	0,7341	7,8497	2,1639
Opcost (Μ€)	0,0691	0,0915	0,0951	0,0927
Health	3,0909	4,8182	6,8182	5,1818
Acceptabl	4,2727	4,5909	5,5909	4,8636
Reliability	6,7273	7,7273	9,7273	8,0000

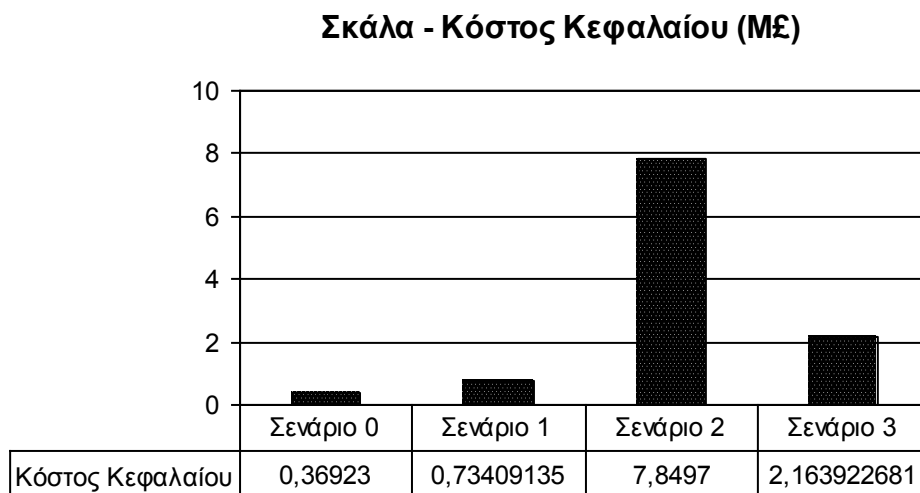
Σκάλα - Σύγκριση Σεναρίων "0" και "1"



Σχήμα 12-18 Σύγκριση των σεναρίων «0» και «1» για τον οικισμό Σκάλα.



Σχήμα 12-19 Σύγκριση των σεναρίων «1», «2» και «3» για τον οικισμό Σκάλα.



Σχήμα 12-20 Κόστος κεφαλαίου (Μ€) για κάθε σενάριο του οικισμού Σκάλα.

12.5.2 Σύγκριση Υδατικής Κατανάλωσης Πόσιμου Νερού

Έχει ενδιαφέρον όμως να δούμε ξεχωριστά και πιο αναλυτικά τις μεταβολές στην υδατική κατανάλωση πόσιμου νερού, από την υιοθέτηση διαφορετικών συστημάτων αστικού νερού. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να δούμε πως επηρεάζεται η ατομική κατανάλωση νερού ανά χρονικό βήμα. Εστιάζουμε στο πόσιμο νερό, διότι το πόσιμο νερό αποτελεί ένα βασικό περιοριστικό παράγοντα του νησιού, που αναγκάζει τις αρχές να το αγοράζουν αρκετά ακριβά, λόγω της μεταφοράς του με υδροφόρα πλοία.

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ατομική υδατική κατανάλωση πόσιμου νερού για τις τρεις διαφορετικές ομάδες ανθρώπων που έχουμε υποθέσει (μόνιμους κατοίκους, παραθεριστές και τουρίστες), απλώς για την ομάδα των μόνιμων κατοίκων γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ της χειμερινής και της θερινής περιόδου, διότι και η κατανάλωση είναι διαφορετική μεταξύ αυτών των δύο περιόδων για τους μόνιμους κατοίκους. Παρουσιάζεται ξεχωριστά η κατανάλωση σε κάθε οικισμό (Σχήμα 12-21, Σχήμα 12-22, Σχήμα 12-23) και ύστερα η μέση κατανάλωση κάθε ομάδας ανθρώπων για όλο το νησί (Σχήμα 12-24). Αναλυτικότερα, η ατομική χρήση κάθε ποιότητας νερού, για κάθε οικισμό, σε κάθε περίοδο, για κάθε σενάριο και για κάθε τύπο κτιρίου παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

Τα αποτελέσματα της υδατικής κατανάλωσης στην ανάλυση κάθε οικισμού, δίνονται ανά 12 ώρες, επειδή τόσο ήταν και το χρονικό βήμα της προσομοίωσής μας με το UWOT, οπότε έτσι δίνονται και τα αποτελέσματα από το UWOT. Τα αποτελέσματα για ολόκληρο το νησί δίνονται ανηγμένα ανά ημέρα, επειδή στην πράξη συνηθίζεται οι συγκρίσεις της κατανάλωσης νερού κάθε πληθυσμού να γίνονται σε ημερήσιο βάση, ως χρονικό διάστημα.

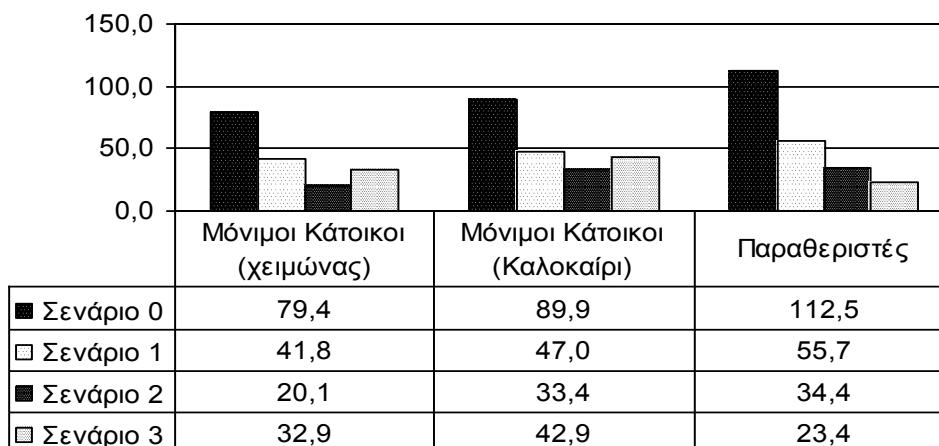
12.5.2.1 Λιμενάρια

Στα Λιμενάρια υπενθυμίζουμε ότι δεν έχουμε τουρίστες στην προσομοίωσή μας. Παρατηρούμε στο Σχήμα 12-21 ότι η ατομική κατανάλωση πόσιμου νερού μειώνεται περίπου κατά 50%, με την εφαρμογή συσκευών εξοικονόμησης νερού. Με τα σενάρια «2» και «3» η εξοικονόμηση όπως έχει προαναφερθεί είναι ακόμα μεγαλύτερη. Για τους μόνιμους κατοίκους, παρατηρείται ότι με το σενάριο «2», καταναλώνουν λιγότερο νερό από ό,τι με το σενάριο «3», όπως είναι και αναμενόμενο από τα αποτελέσματα που έχουμε προαναφέρει.

Όμως, συγκεκριμένα οι παραθεριστές καταναλώνουν λιγότερο πόσιμο νερό με το σενάριο «3» παρά με το σενάριο «2». Αυτό συμβαίνει διότι σύμφωνα με το σενάριο «3», στις δεξαμενές που βρίσκονται στις κατοικίες των παραθεριστών μαζεύεται το βρόχινο νερό του χειμώνα, μόνο για τη δική τους χρήση, όταν θα κατοικήσουν το νησί το καλοκαίρι. Το νερό αυτό επαρκεί και περισσεύει, σύμφωνα με την προσομοίωσή μας, για να καλυφθεί ολόκληρη η ζήτηση σε «πράσινο» νερό του νοικοκυριού τους, για όλη την περίοδο του καλοκαιριού. Με το σενάριο «2» όμως, το βρόχινο νερό μεταφέρεται σε κεντρικές δεξαμενές, καταναλώνεται με την πάροδο του χρόνου από τους μόνιμους κατοίκους, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή προς τη θερινή περίοδο, όπου λιγοστεύουν οι βροχοπτώσεις, να εξαντλείται. Έτσι, οι παραθεριστές αναγκάζονται πλέον να καταναλώνουν περισσότερο πόσιμο νερό, για να καλυφθούν οι υδατικές ανάγκες τους, με αποτέλεσμα να καταγράφεται

μεγαλύτερη κατανάλωση πόσιμου νερού των παραθεριστών στο σενάριο «2» από ό,τι στο σενάριο «3».

Λιμενάρια - Ατομική Κατανάλωση Νερού (L/12h/άτομο)



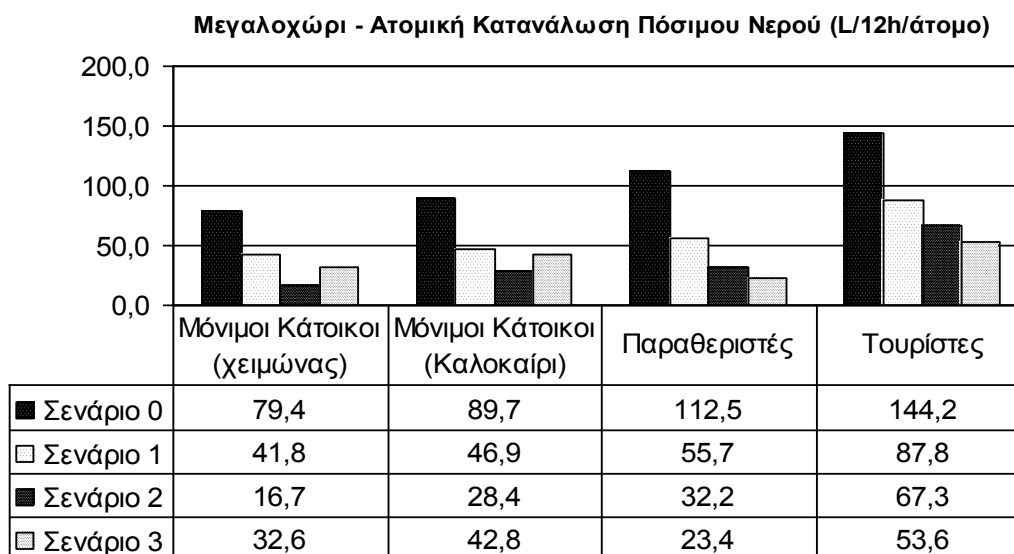
Σχήμα 12-21 Υδατική κατανάλωση πόσιμου νερού, ανά άτομο, στον οικισμό Λιμενάρια.

12.5.2.2 Μεγαλοχώρι

Παρατηρούμε ότι το ίδιο συμβαίνει και με τους παραθεριστές στο Μεγαλοχώρι, για τον ίδιο λόγο. Στην προσομοίωση του Μεγαλοχωρίου μπορούμε να παρατηρήσουμε και τον κτιριακό τύπο των ξενοδοχείων (Σχήμα 12-22). Παρατηρούμε ότι στα ξενοδοχεία, στο σενάριο «3», υπάρχει μεγαλύτερη εξοικονόμηση πόσιμου νερού απ ό,τι στο σενάριο «2». Αυτό συμβαίνει διότι στα ξενοδοχεία η ποσότητα γκρι νερού που παράγεται, ακόμα και με τη χρήση των συσκευών εξοικονόμησης¹⁹ καλύπτει εξολοκλήρου τη ζήτηση σε «πράσινο νερό». Οι ποσότητες γκρι νερού που παράγονται στα ξενοδοχεία είναι μεγάλες, λόγω των σημαντικών ποσοτήτων νερού του μπάνιου που καταναλώνονται από τους τουρίστες στην προσομοίωσή μας.

Συνεπώς, τα ξενοδοχεία, τα οποία ως επί το πλείστον λειτουργούν μόνο τη θερινή περίοδο, εάν χρησιμοποιούν τοπικό (onsite) σύστημα γκρι νερού δεν χρειάζονται απαραίτητα δεξαμενή/ές συλλογής βρόχινου νερού το χειμώνα. Άλλωστε, η παραγωγή γκρι νερού ως υδατικού πόρου, έχει μικρότερη αβεβαιότητα από εκείνη της βροχής.

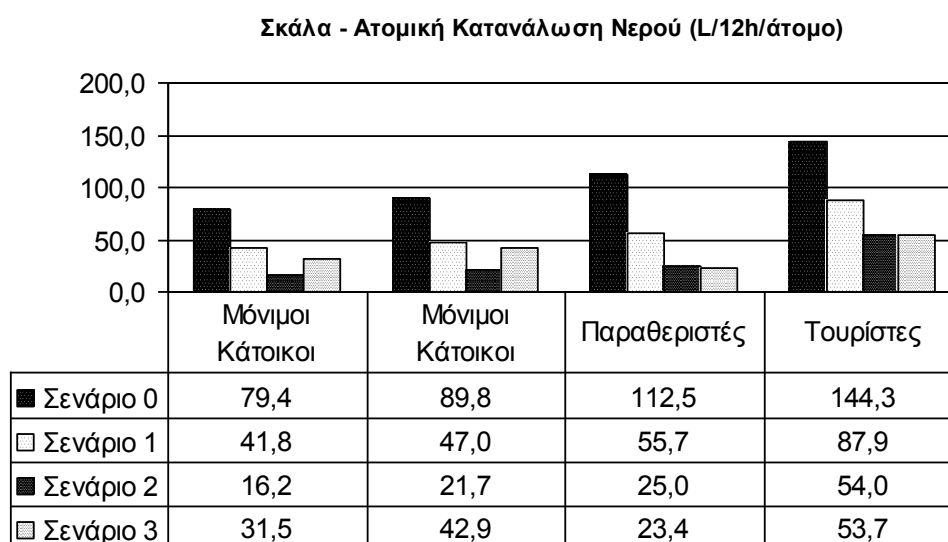
¹⁹ Ο συντάκτης της εργασίας έχει παρατηρήσει ότι σε συνήθη αστικά νοικοκυριά, χωρίς μεγάλες αρδευτικές ανάγκες, το γκρι νερό είναι πολύ πιθανόν να υπερκαλύπτει τη ζήτηση σε πράσινο νερό, εάν δεν γίνεται χρήση συσκευών εξοικονόμησης νερού.



Σχήμα 12-22 Υδατική κατανάλωση πόσιμου νερού, ανά άτομο στον οικισμό Μεγαλοχώρι.

12.5.2.3 Σκάλα

Το ίδιο φαινόμενο που περιγράφηκε προηγουμένως, για τις παραθεριστικές κατοικίες και τα ξενοδοχεία, εμφανίζεται και στον οικισμό της Σκάλας, όμως εδώ εμφανίζεται σε πολύ μικρότερη έκταση (Σχήμα 12-23). Η διαφορά της κατανάλωσης πόσιμου νερού πλέον, μεταξύ των σεναρίων «2» και «3», δεν είναι μεγάλη και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στη Σκάλα η αναλογία του πληθυσμού σε σχέση με τη δομημένη επιφάνεια είναι πολύ μικρότερη τη χειμερινή περίοδο. Ως εκ τούτου, οι συλλεγόμενες ποσότητες βρόχινου νερού την περίοδο του χειμώνα είναι μεγαλύτερες και ο ρυθμός κατανάλωσής τους μικρότερος. Οπότε, τα κεντρικά συστήματα βρόχινου νερού, στο σενάριο «2», καλύπτουν για αρκετά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα το έλλειμμα του οικισμού (ως σύνολο) σε πράσινο νερό. Επίσης, τη θερινή περίοδο, τα ξενοδοχεία συνεισφέρουν σημαντικές ποσότητες γκρι νερού για όλο το κεντρικό σύστημα.



Σχήμα 12-23 Υδατική κατανάλωση πόσιμου νερού, ανά άτομο στον οικισμό Σκάλα.

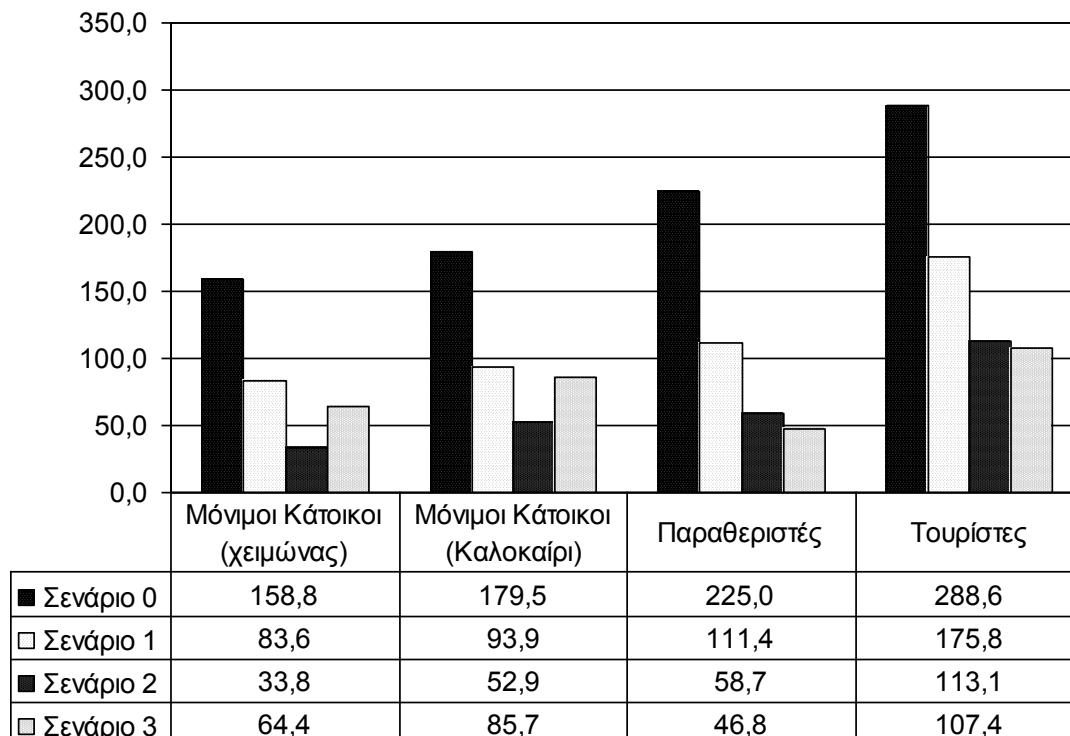
Συνεπώς, οι κτιριακές υποδομές των παραθεριστών και των ξενοδοχείων μπορούν να συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην εξοικονόμηση νερού, εάν εφαρμόζεται κεντρικό σύστημα αξιοποίησης του βρόχινου νερού, διότι αξιοποιείται το συλλεγόμενο νερό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από τους μόνιμους κατοίκους, αλλά και το γκρι νερό των ξενοδοχείων τη θερινή περίοδο.

12.5.2.4 Αγκίστρι

12.5.2.4.1 Ημερήσια Ατομική Κατανάλωση Πόσιμου Νερού

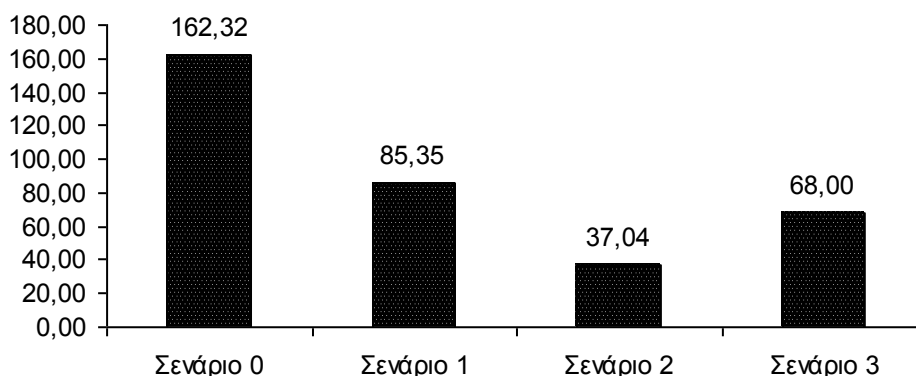
Στο Σχήμα 12-24 παρουσιάζεται η ημερήσια ατομική κατανάλωση για κάθε ομάδα κατοίκων του νησιού, βάσει της προσομοίωσης με το UWOT. Με βάση το σενάριο «0», για τους παραθεριστές, η κατανάλωση μειώνεται κατά 50,5% με εφαρμογή του σεναρίου «1», κατά 73,9% με το σενάριο «2» και κατά 79,2% με το σενάριο «3». Για τους τουρίστες, τα αντίστοιχα ποσοστά εξοικονόμησης είναι 39,1% με εφαρμογή του σεναρίου «1», 60,8% με το σενάριο «2» και 62,8% με το σενάριο «3». Για τους μόνιμους κατοίκους παρουσιάζεται ξεχωριστό διάγραμμα (Σχήμα 12-25), ώστε να συνδυαστεί η κατανάλωση την περίοδο του χειμώνα με αυτήν της θερινής περιόδου. Έτσι, διαπιστώνουμε (με βάση το σενάριο «0») μείωση της κατανάλωσης σε πόσιμο νερό κατά 47,4% με εφαρμογή του σεναρίου «1», κατά 77,2% με το σενάριο «2» και κατά 58,1% με το σενάριο «3». Τα ποσοστά αυτά παρατίθενται και στον Πίνακα 12-27.

**Αγκίστρι - Ημερήσια Κατανάλωση Πόσιμου Νερού
(L/ημέρα/άτομο)**



Σχήμα 12-24 Υδατική κατανάλωση πόσιμου νερού, ανά άτομο, ανά 24h, στο νησί Αγκίστρι.

Μόνιμοι Κάτοικοι Αγκιστρίου - Ατομική Ημερήσια Κατανάλωση Πόσιμου Νερού (L/24h/άτομο)



Σχήμα 12-25 Ημερήσια ατομική κατανάλωση πόσιμου νερού των μόνιμων κατοίκων, στο νησί Αγκίστρι.

Πίνακας 12-27 Ποσοστά Εξοικονόμησης Πόσιμου Νερού ανά Κάτοικο, επί της Ατομικής Κατανάλωσης του Σεναρίου "0"

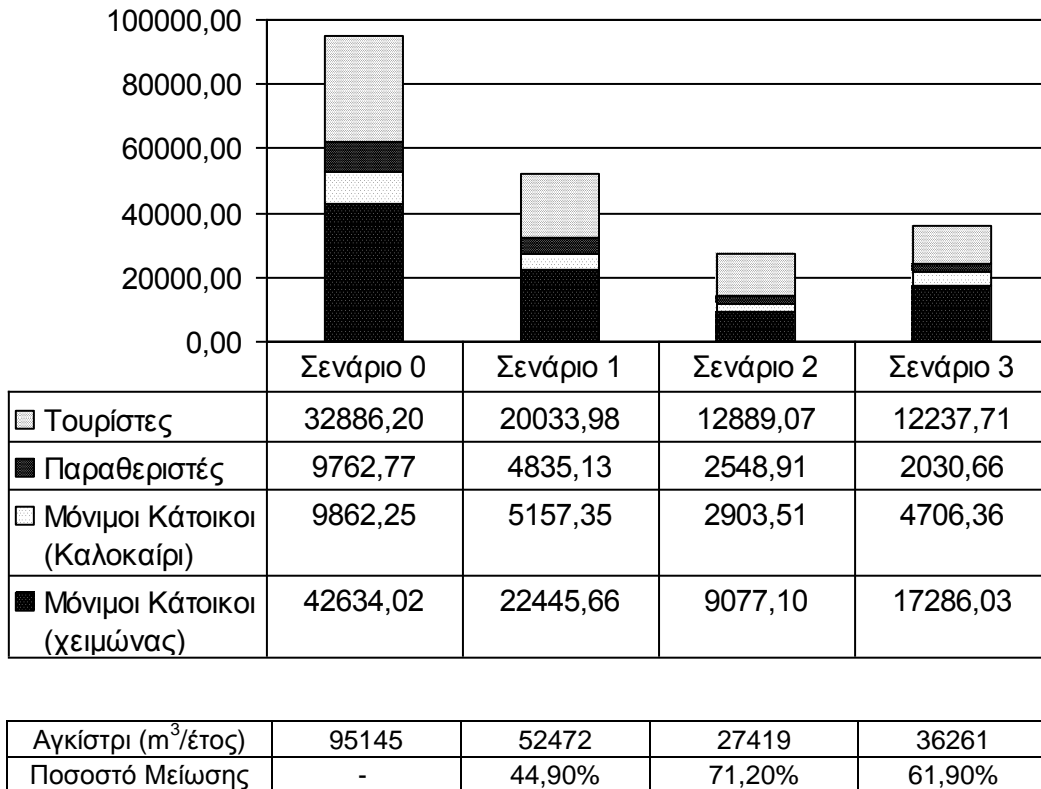
	Ποσοστό Ατομικής Εξοικονόμησης Πόσιμου Νερού (% επί της κατανάλωσης του Σεναρίου 0)		
	Μόνιμοι Κάτοικοι	Παραθεριστές	Τουρίστες
Σενάριο 0	-	-	-
Σενάριο 1	47,40%	50,50%	39,10%
Σενάριο 2	77,20%	73,90%	60,80%
Σενάριο 3	58,10%	79,20%	62,80%

12.5.2.5 Σύγκριση Συνολικού Όγκου Κατανάλωσης Πόσιμου Νερού στο Αγκίστρι

Στο Σχήμα 12-26 παρουσιάζεται ο ετήσιος όγκος καταναλισκόμενου πόσιμου νερού για το νησί Αγκίστρι. Επαναλαμβάνεται ότι πρόκειται για την τιμολογημένη κατανάλωση και όχι εκείνη που γίνεται για δημόσια χρήση (βλ. 12.1.5). Στο σχήμα αυτό η συνολική ετήσια κατανάλωση αναλύεται ανά ομάδα κατοίκων. Από ό,τι φαίνεται το μεγαλύτερο μερίδιο το καταλαμβάνουν οι μόνιμοι κάτοικοι και δευτερευόντως οι τουρίστες.

Αθροιστικά, υπολογίζουμε, βάσει των αποτελεσμάτων του UWOT, ότι για το σενάριο «1» η ετήσια κατανάλωση πόσιμου νερού ανέρχεται σε 52472 m³, για το σενάριο «2» η κατανάλωση πόσιμου νερού υπολογίζεται μόλις 27419 m³ και για το σενάριο «3» αυξάνεται λίγο σε σχέση με του σεναρίου «2» σε 36261 m³, ενώ υπενθυμίζουμε ότι για το σενάριο «0» έχουμε υπολογίσει στην προσομοίωσή μας ετήσια κατανάλωση πόσιμου νερού 95145 m³. Δηλαδή, σε σχέση με το σενάριο «0», η κατανάλωση πόσιμου νερού υπολογίζεται ότι μειώνεται κατά 44,9% με το σενάριο «1», κατά 71,2% με το σενάριο 2 και 61,9% με το σενάριο «3».

Αγκίστρι - Συνολική Ετήσια Κατανάλωση (m³)



Σχήμα 12-26 Συνολικός ετήσιος όγκος πόσιμου νερού. Ανάλυση ανά κατηγορία πληθυσμού.

12.5.3 Προοπτικές Απόσβεσης

Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού του ενδεχόμενου χρόνου αποσβέσεως κάθε σεναρίου. Για το λόγο αυτό, όμως, εισάγεται υποθετικά στο σενάριο «0» μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων σε κάθε οικισμό, έτσι ώστε το επιπρόσθετο κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας των υπόλοιπων σεναρίων να μην συμπεριλαμβάνει και εκείνο της εγκατάστασης αυτής. Προφανώς, εισάγονται οι ίδιες κεντρικές εγκαταστάσεις με αυτές των σεναρίων «1», «2» και «3». Με άλλα λόγια, για τον υπολογισμό της απόσβεσης, θεωρούμε το σενάριο «0» ότι είναι υποθετικά όπως το σενάριο «1», απλώς εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται οι συμβατικές συσκευές υδατικής κατανάλωσης. Για το λόγο αυτό ονομάζουμε το σενάριο «0», για το κομμάτι αυτό της εργασίας, «Νέο Σενάριο 0».

Ο υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Friedler and Hadari, 2006),

$$n = \frac{\log\left(\frac{1}{1 - \left(\frac{C \times i}{R}\right)}\right)}{\log(1 + i)}$$

όπου με **n** συμβολίζονται τα έτη απόσβεσης, **C** το κόστος κεφαλαίου, **R** το καθαρό εξοικονομούμενο κόστος (αξία εξοικονομούμενου νερού μείον το λειτουργικό κόστος, για παράδειγμα ανά έτος) και **i** το επιτόκιο.

Στον Πίνακα 12-28 παρατίθεται συγκεντρωτικά το κόστος κεφαλαίου για κάθε σενάριο της προσομοίωσής μας, μαζί με τους νέους υπολογισμούς του νέου σεναρίου «0». Στην τελευταία γραμμή αναφέρεται το επιπρόσθετο κόστος κεφαλαίου (C), σε σχέση με το νέο σενάριο «0». Το UWOT μας δίνει τα κόστη σε αγγλικές στερλίνες (£), οπότε εμείς πρέπει να κάνουμε τη μετατροπή σε μονάδες ευρώ (σε €). Η ισοτιμία που χρησιμοποιείται είναι 1£=1,105 € (Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος, 01/07/2011).

Πίνακας 12-28 Κόστος κεφαλαίου κάθε σεναρίου.
Επιπρόσθετο κόστος κεφαλαίου σε σχέση με το νέο σενάριο «0».

Κόστος Κεφαλαίου Σεναρίων	Νέο Σενάριο 0	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Λιμενάρια (Μ£)	0,0981	0,2580	0,9762	0,3827
Μεγαλοχώρι (Μ£)	0,3391	0,5064	5,4719	1,8142
Σκάλα (Μ£)	0,5863	0,7341	7,8497	2,1639
Αγκίστρι (Μ£)	1,0234	1,498436071	14,29793	4,360832
Πρόσθετο Κόστος Κεφαλαίου σε σχέση με Σενάριο "0" (Μ£)	-	0,474988185	13,274482	3,3373842
Πρόσθετο Κόστος Κεφαλαίου σε σχέση με Σενάριο "0" (€) (1£=1,105€)	-	524861,9446	14668303	3687809,5

Στον Πίνακα 12-29 παρατίθενται αναλυτικά οι υπολογισμοί του λειτουργικού κόστους του νέου σεναρίου «0», μαζί με τα ήδη γνωστά λειτουργικά κόστη κάθε σεναρίου. Εμάς όμως μας ενδιαφέρει το πρόσθετο λειτουργικό κόστος ($C_{o\&M}$) από την εφαρμογή κάθε σεναρίου, το οποίο παρατίθεται στην τελευταία γραμμή, σε μονάδες ευρώ (€).

Πίνακας 12-29 Λειτουργικό κόστος κάθε σεναρίου. Επιπρόσθετο κόστος σε σχέση με το νέο σενάριο «0».

Λειτουργικό Κόστος	Νέο Σενάριο 0	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Λιμενάρια (χειμ) (Μ£)	0,0081	0,0124	0,0124	0,0124
Λιμενάρια (καλ) (Μ£)	0,0029			
Μεγαλοχώρι (χειμ) (Μ£)	0,0372	0,0685	0,0695	0,0686
Μεγαλοχώρι (καλ) (Μ£)	0,0230			
Σκάλα (χειμ) (Μ£)	0,0260	0,0915	0,0951	0,0927
Σκάλα (καλ) (Μ£)	0,0490			
Αγκίστρι (Μ£)	0,1461	0,1724	0,1770	0,1738
Πρόσθετο Λειτουργικό Κόστος (Μ£)	-	0,0263	0,0309	0,0277
Πρόσθετο Λειτουργικό Κόστος (€) (1£=1,105€)	-	29076,73325	34172,041	30628,049

Στον Πίνακα 12-30 παρουσιάζεται ο εξοικονομούμενος όγκος νερού για κάθε σενάριο και η αντίστοιχη αξία του [R_{ws} , (water save)], σύμφωνα με την τιμή αγοράς του νερού από την Κοινότητα/Δήμο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η τιμή αυτή είναι 3€/m³.

Πίνακας 12-30 Αξία εξοικονομούμενου νερού.

	Σενάριο 0	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ετήσια Κατανάλωση Αγκιστρίου (m ³)	95145,23805	52472,11625	27418,589	36260,757
Εξοικονομούμενος Όγκος Νερού (m ³)	-	42673,1218	67726,65	58884,481
Εξοικονομούμενη Αξία σε ευρώ € (3€/m ³)	-	128019,3654	203179,95	176653,44

Έπειτα βρίσκεται και το καθαρό ετήσιο εξοικονομούμενο κόστος, το οποίο προκύπτει αφαιρώντας από την αξία του εξοικονομούμενου νερού το κόστος λειτουργίας ($R = R_{ws} - C_{o\&m}$). Πλέον έχουν βρεθεί τα βασικά μεγέθη για τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης για κάθε σενάριο, τα οποία βρίσκονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 12-31. Έχει υποτεθεί ένα επιτόκιο $i=2\%$.

Πίνακας 12-31 Χρόνος αποσβέσεως αρχικού κεφαλαίου.

Αγκίστρι : Αποτελέσματα Σεναρίων σε σχέση με το Σενάριο "0"		Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
C	Πρόσθετο Κόστος Κεφαλαίου (€)	524861,9446	14668303	3687809,5
Co&m	Πρόσθετο Λειτουργικό Κόστος (€)	29076,73325	34172,041	30628,049
Rws	Εξοικονομούμενη Αξία (€) (3€/m ³)	128019,3654	203179,95	176653,44
R	Καθαρό Εξοικονομούμενο Κόστος (€) ($R=R_{ws}-C_{o\&m}$)	98942,63214	169007,91	146025,39
i	Έστω Επιτόκιο $i=2\%$ ($i=0,02$)	0,02	0,02	0,02
n	Έτη Αποσβέσεως	5,66	x	35,52
		≈ 6		≈ 36

Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών προκύπτει ότι το αρχικό κεφάλαιο για την υλοποίηση του σεναρίου «1» απαιτεί περίπου 6 έτη για να αποσβεστεί, ενώ το αντίστοιχο χρονικό διάστημα για το σενάριο «3» είναι περίπου 36 έτη, χωρίς όμως να υπολογίζονται οι περιορισμοί της διάρκειας ζωής κάποιων επιμέρους στοιχείων του συστήματος. Το σενάριο «2», σύμφωνα με τους υπολογισμούς δεν είναι δυνατόν να αποσβεστεί, διότι $R < C \times i$.

Θα θέλαμε όμως να δούμε ποια θα ήταν η οριακή τιμή – δηλαδή η ελάχιστη τιμή – πώλησης της μονάδας νερού (m³), ώστε να συντελείται απόσβεση σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για κάθε σενάριο. Επιλέγουμε χρονικό διάστημα 20 ετών. Είναι σαφές ότι όσο ακριβότερα πωλείται η μονάδα νερού, τόσο περισσότερο οικονομικά αποδοτικό μπορεί να καταστεί ένα εναλλακτικό σενάριο εξοικονόμησης νερού (Πίνακας 12-32).

Όπως είναι αναμενόμενο, η τιμή 1,43€, που υπολογίζεται για το σενάριο «1» είναι μικρότερη από εκείνη των 3€, αφού με τιμή 3€ ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε περίπου 6 έτη < 20 έτη. Για το σενάριο «2», η τιμή πώλησης του m³ για να υπάρξει 20ετής απόσβεση, πρέπει να οριστεί 13,75€, η οποία τιμή υπό τις παρούσες συνθήκες κρίνεται υπερβολικά υψηλή. Για το σενάριο «3», η αντίστοιχη τιμή της μονάδας m³ υπολογίζεται 4,35€, η οποία δεν απέχει και πολύ από τη σημερινή τιμή πώλησης (3€).

Πίνακας 12-32 Οριακή (ελάχιστη) τιμή πώλησης για απόσβεση σε 20 έτη.

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Κόστος m ³ για απόσβεση σε 20 έτη (€)	1,43	13,75	4,35

12.5.4 Συμπεράσματα - Σκέψεις

Από τα τρία εναλλακτικά σενάρια που έχουμε δοκιμάσει στη βάση της προσομοίωσής μας, πιο ρεαλιστικό, με σημαντικές ποσότητες εξοικονόμησης νερού (44,9%), φαίνεται να είναι το σενάριο «1», όπου χρησιμοποιούνται συσκευές μειωμένης κατανάλωσης νερού (έξυπνες συσκευές) και το κόστος του δείχνει να μπορεί να αποσβεστεί σε 6 μόλις έτη. Το σενάριο «2», όπου χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα κεντρικά συστήματα γκρι και βρόχινου νερού, εξασφαλίζοντας τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού (71,20%), φαίνεται να είναι απαγορευτικό, αν ιδωθεί από οικονομικής άποψης. Κατά τα άλλα, παρουσιάζει εντυπωσιακότατα αποτελέσματα ως προς τις περισσότερες από τις άλλες παραμέτρους. Θα λέγαμε ότι κεντρικά συστήματα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν, εάν υπήρχε η πρόθεση να αναπτυχθούν αγροτικές δραστηριότητες με μεγάλες αρδευτικές ανάγκες, όμως στην παρούσα εργασία δεν διερευνήθηκε κάτι τέτοιο. Μία άλλη σκέψη θα ήταν η διάθεση του γκρι νερού για τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα, χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία.

Το σενάριο «3» με τοπικές δεξαμενές βρόχινου νερού στις μικρές οικιστικές μονάδες και τοπικό σύστημα γκρι νερού στα ξενοδοχεία, αποτελεί ένα σαφώς ηπιότερο σενάριο, συγκριτικά με το σενάριο «2», όμως εξοικονομούνται κατά 10% περίπου λιγότερες υδατικές ποσότητες. Τα 36 έτη απόσβεσης, ωστόσο, αποτελούν αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, αν και οι απαιτήσεις συντήρησης δεν αναμένονται να είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Σε περίπτωση πάντως που οι πιέσεις νερού ενταθούν, τα μεταφορικά έξοδα αυξηθούν και γενικότερα, εάν για οποιονδήποτε λόγο αυξηθεί η τιμή πώλησης του νερού από την ΕΥΔΑΠ, τότε ίσως θα πρέπει να γίνουν κάποια βήματα προς την κατεύθυνση του σεναρίου «3».

Για παράδειγμα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν μικρά συλλογικά συστήματα ανά γειτονιά. Γειτονικές ξενοδοχειακές μονάδες θα μπορούσαν να συνεργαστούν υιοθετώντας από κοινού συστήματα επεξεργασίας γκρι νερού, στο οποίο μπορεί αν συμπράττουν ενδεχομένως και άλλα κτίρια. Επίσης μπορεί να υπάρξει συνεργασία ώστε τα νερά της βροχής ενός ακατοίκητου το χειμώνα κτιρίου να μπορούν να αξιοποιούνται από τους μόνιμους κατοίκους μίας γειτονικής κατοικίας.

12.6 Ανακεφαλαίωση

Στο παρόν κεφάλαιο προσπαθούμε να προσομοιώσουμε με το υπολογιστικό πρόγραμμα UWOT το υδατικό σύστημα του ελληνικού νησιού Αγκίστρι, με σκοπό τη διερεύνηση της βιωσιμότητας εναλλακτικών σεναρίων υδατικής εξοικονόμησης.

Αφού περιγράψουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του νησιού, χωρίζουμε το αστικό σύστημα υδατικών πόρων στους τρεις οικισμούς του (Μεγαλοχώρι, Σκάλα, Λιμενάρια), διαχωρίζοντας τα αντίστοιχα ομοιώματα σε δύο περιόδους (χειμερινή, θερινή) με αποτέλεσμα να έχουμε 6 ομοιώματα που συνθέτουν όλο το σύστημα του νησιού. Κατόπιν, αναλύουμε κάθε υποσύστημα σε κτιριακούς τύπους, της μόνιμης κατοικίας, της παραθεριστικής κατοικίας και του ξενοδοχείου, με τους δύο τελευταίους τύπους να

κατοικούνται από μηδενικό πληθυσμό, στα ομοιώματα που αντιστοιχούν στην περίοδο του χειμώνα.

Έπειτα, προσδιορίζουμε τα χαρακτηριστικά εκείνα που σχετίζονται με την ανάλυση της υδατικής κατανάλωσης, με σκοπό την προσομοίωση της υπάρχουσας κατάστασης. Προσδιορίζουμε τον αριθμό κάθε τύπο κτιρίου και την κατοίκησή του, εισάγουμε τις χρονοσειρές της βροχόπτωσης και των συντελεστών ζήτησης, επιλέγουμε τις συσκευές υδατικής χρήσεως και τους συντελεστές συχνότητας αυτών. Ακόμη, προσδιορίζουμε τα εμβαδά των περατών και των αδιαπέρατων επιφανειών, όπως και τα εμβαδά των επιφανειών συλλογής βρόχινου νερού, τόσο για κάθε τύπο κτιρίου, όσο και για τους δημόσιους χώρους.

Στη συνέχεια ορίζουμε τρία εναλλακτικά σενάρια. Στο 1^ο αντικαθιστούμε τις συμβατικές συσκευές με «έξυπνες συσκευές» μειωμένης κατανάλωσης νερού και εισάγουμε εγκαταστάσεις αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων. Στο 2^ο σενάριο, πάνω στη βάση του 1^{ου} σεναρίου, προσθέτουμε κεντρικά συστήματα γκρι και βρόχινου νερού, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης πόσιμου νερού. Στο 3^ο εναλλακτικό σενάριο, στη βάση και πάλι του 1^{ου} σεναρίου, υιοθετούμε τοπικά συστήματα βρόχινου νερού για τις μόνιμες και παραθεριστικές κατοικίες και τοπικά συστήματα γκρι νερού για τα ξενοδοχεία.

Ορίζουμε τις πηγές του γκρι νερού και τις δυνατές εφαρμογές του «πράσινου» νερού. Για κάθε σενάριο ορίζουμε τον ελάχιστο όγκο των δεξαμενών, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση. Η μεγαλύτερη κεντρική δεξαμενή διαστασιολογήθηκε 2970,6 m³, ενώ η μεγαλύτερη τοπική δεξαμενή διαστασιολογήθηκε 9,96 m³ και αντιστοιχεί στην παραθεριστική κατοικία. Διαπιστώνεται ότι στο 3^ο σενάριο, το βρόχινο νερό που δύναται να συλλεχθεί από την παραθεριστική κατοικία είναι πολύ περισσότερο από τον όγκο ζήτησης πράσινου νερού σε αυτήν, τη θερινή περίοδο. Επίσης, διαπιστώνεται στο ίδιο σενάριο ότι η παροχή του παραγόμενου γκρι νερού στα ξενοδοχεία (τη θερινή περίοδο) είναι μεγαλύτερη από την παροχή της ζήτησης πράσινου νερού σε αυτά.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Παρουσιάζονται τα ποσοτικά και τα ποιοτικά μεγέθη της προσομοίωσης κάθε οικισμού και τίθενται υπό σύγκριση. Το σενάριο «2» παρουσιάζει εντυπωσιακά αποτελέσματα, με βαρύ όμως κόστος, οικονομικό και όσον αφορά τη χρήση γης. Τα σενάρια «1» και «3» παρουσιάζουν μια ενδιάμεση εικόνα μεταξύ των σεναρίων «0» και «2». Ξεχωριστή αναφορά γίνεται για τα μεγέθη του κόστους και της υδατικής κατανάλωσης. Για τους μόνιμους κατοίκους η ατομική κατανάλωση από 162,32 L/ημέρα/κάτοικο μπορεί να μειωθεί σε 85,35 L/ημέρα/κάτοικο με το 1^ο σενάριο, σε 37,04 L/ημέρα/κάτοικο με το 2^ο σενάριο και σε 68 L/ημέρα/κάτοικο με το 3^ο. Γενικότερα μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης πόσιμου νερού κατά 44,9% με το 1^ο σενάριο, κατά 71,2% με το 2^ο και κατά 61,9% με το 3^ο εναλλακτικό σενάριο. Ωστόσο, το επιπρόσθετο κόστος κεφαλαίου για το 2^ο σενάριο είναι 28 φορές μεγαλύτερο από το επιπρόσθετο κόστος για το 1^ο σενάριο. Το επιπρόσθετο κόστος κεφαλαίου για το 3^ο σενάριο είναι 7 φορές μεγαλύτερο από εκείνο για το 1^ο σενάριο.

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την εκτίμηση του χρόνου αποσβέσεως κάθε σεναρίου. Με την υπόθεση ενός επιτοκίου 2%, υπολογίζεται ότι το 1^ο σενάριο μπορεί να αποσβεστεί σε 6 έτη, το 2^ο σενάριο εκτιμάται ότι δεν δύναται να αποσβεστεί και το 3^ο σενάριο σε 36 έτη. Αν

θέσουμε με το ίδιο επιτόκιο ως χρόνο απόσβεσης τα 20 έτη, τότε υπολογίζουμε ότι η τιμή της μονάδας νερού m^3 θα πρέπει να κοστίζει στο Δήμο Αγκιστρίου 1,43€ για το 1^ο σενάριο, 13,75€ για το 2^ο και 4,35€ για το 3^ο εναλλακτικό σενάριο διαχείρισης του υδατικού συστήματος της νήσου «Αγκίστρι». Κλείνουμε με σκέψεις και σχόλια από το συντάκτη.

Επίλογος - Συζήτηση

Στην εργασία αυτή έχουμε διαπιστώσει ότι υπάρχουν σοβαροί λόγοι να αναζητήσουμε διαφορετικές λύσεις για την ικανοποίηση των υδατικής ζήτησης από αυτές που γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις εκτιμώνται μη βιώσιμες, κυρίως λόγω αυξανόμενου κόστους, έλλειψης υδατικών πόρων και περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Επίσης, έχουμε δει ότι οι ποσότητες παραγόμενου γκρι νερού ακόμα και μόνο από το μπάνιο, από το οποίο το νερό θεωρείται καλύτερης ποιότητας, είναι αρκετά μεγάλες, περίπου το 29% της οικιακής υδατικής κατανάλωσης ($40 \div 50$ L/κατ/ημέρα), στα ίδια περίπου επίπεδα με το απαιτούμενο νερό της τουαλέτα όπου μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.

Σε ιδιωτικό επίπεδο, προτείνεται η άμεση και επιτόπου επαναχρησιμοποίηση των απόνερων του μπάνιου στο καζανάκι της τουαλέτας, ώστε να αποφευχθεί το ενεργειακό κόστος άντλησης ($1 \div 3$ kWh/m³) και η επαναχρησιμοποίηση του υπολειπόμενου γκρι νερού για τις αρδευτικές ανάγκες, για παράδειγμα μιας εξοχικής μονοκατοικίας. Η χρήση συστημάτων επεξεργασίας μεγάλου βαθμού επεξεργασίας για τη χρήση εντός του νοικοκυριού, για μεμονωμένες κατοικίες δεν φαίνεται προς το παρόν να είναι μία αποδοτική λύση. Πάντως, ακόμη κι αν δεν είναι άμεσα οικονομικά αποδοτική η επιλογή ενός εναλλακτικού, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν είναι και οικονομικά προσιτή λύση, ή ότι τα εξωτερικά οφέλη είναι αμελητέα.

Από ό,τι φάνηκε πάντως και από τη μελέτη περίπτωσης στο Αγκίστρι, σε επίπεδο κατοικίας, αρκετά ελκυστική φαίνεται η πρόταση χρήσης συσκευών μειωμένης υδατικής κατανάλωσης. Εμείς προσθέτουμε ότι σε αγροτικές περιοχές με μεγάλη βροχόπτωση, αλλά και διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στέρνες για την αξιοποίηση του νερού της βροχής. Αν υπάρχουν και εκτεταμένες αρδευτικές ανάγκες κοντά στον τόπο διαμονής τότε μία καλή λύση επεξεργασίας (αποτελεσματική και περιβαλλοντικά φιλική), για τη χρήση και γκρι νερού, θα ήταν οι τεχνητές υγρές ζώνες (constructed wetland). Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι για αρδευτική εφαρμογή καλό θα ήταν να υπάρχει εναλλαγή πόσιμου με επεξεργασμένο γκρι νερό. Επίσης είναι πιθανό η επαναχρησιμοποίηση γκρι νερού από τους ίδιους τους καταναλωτές, να οδηγήσει σε αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση και να επεκταθεί περισσότερο η ιδέα της χρήσης απορρυπαντικών και ειδών οικιακού καθαρισμού φιλικότερων στο περιβάλλον.

Συλλογικά/κοινοτικά συστήματα μικρής κλίμακας, για παράδειγμα σε επίπεδο γειτονιάς, ίσως να αποτελούν μία πολύ καλή λύση για πολλές περιοχές, όπως αρκετές σχετικά αραιοκατοικημένες μικρές ελληνικές πόλεις, ή για τα προάστια των Αθηνών. Υπό τις παρούσες όμως συνθήκες, κρίνουμε ότι τέτοια συστήματα μπορούν να υιοθετηθούν πιο εύκολα για κοινόχρηστη εφαρμογή, για την ανάπτυξη και άρδευση κοινόχρηστου αστικού πρασίνου για παράδειγμα, που είναι ελάχιστο στα μεγάλα αστικά κέντρα. Θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα τουλάχιστον πάρκο αναψυχής σε κάθε γειτονιά. Οι ανάγκες συντήρησης

γκαζόν και γηπέδων, που είναι υδροβόρα δραστηριότητα, εντός των αστικών πόλεων μπορεί να αποτελέσει άλλη μία εφαρμογή. Η εφαρμογή αυτή εκτός των άλλων θα αποφορτίσει και το αποχετευτικό δίκτυο και τις λειτουργικές απαιτήσεις των κεντρικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας, όπως επίσης τους υδάτινους υποδοχείς των επεξεργασμένων αυτών εκροών. Γενικώς, είναι καλό τα συστήματα αυτά να προσαρμόζονται στις τοπικές ιδιαιτερότητες, κάτι που αποτελεί βασικό πλεονέκτημα των αποκεντρωμένων συστημάτων.

Για άλλες χρήσεις πέραν του αστικού πρασίνου, που ενέχουν περισσότερο κίνδυνο, ενδεχομένως να υπάρχει δυσκολία εφαρμογής λόγω της έλλειψης εμπιστοσύνης (προς συμπολίτες και αρχές) που υπάρχει στις αστικές ελληνικές κοινωνίες μας. Σε μία τέτοια περίπτωση ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην αποτελεσματικότητα του συστήματος διότι κάποιες αντιληπτές αστοχίες θα δημιουργούσαν αρνητικό προηγούμενο. Απαιτούνται λοιπόν οργανωμένα συστήματα παρακολούθησης κι ελέγχου (monitoring).

Μία άλλη οικονομικά ελκυστική πρόταση θα ήταν η συλλογή και αποθήκευση γκρι νερού από ανάντη οικισμούς, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του από κατοίκους άλλων οικισμών που βρίσκονται κατάντη, χωρίς τη χρήση αντλιών ανύψωσης του νερού. Έτσι θα εξοικονομούνταν ένα σημαντικό μέρος του λειτουργικού κόστους, όμως μία τέτοια επιλογή πιθανότατα θα δημιουργούσε ακόμα μεγαλύτερη ανασφάλεια ίσως και αποδοκιμασία από τους ανθρώπους.

Δεν πρέπει πάντως να μην λάβουμε υπόψιν ότι είναι πολύ πιθανό η αίσθηση της εξοικονόμησης νερού να δημιουργήσει μια λιγότερο συγκρατημένη καταναλωτική συμπεριφορά. Αν το φαινόμενο αυτό γίνει πολύ έντονο τότε μπορεί το επιλεγόμενο σύστημα να καταστεί εν τέλει μη αποδοτικό.

Φαίνεται πάντως ότι τα εναλλακτικά συστήματα διαχείρισης αστικών υδατικών πόρων αποτελούν μία νέα πρόκληση της σύγχρονης κοινωνίας, αλλά και για υδραυλικούς μηχανικούς, μηχανικούς περιβάλλοντος και επιστήμονες από πολλούς άλλους κλάδους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ανδρεαδάκης Α., Μ., Πανταζίδου, Α., Σταθόπουλος, Κ., Χατζημπίρος (2003). Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων και Ιλύων. Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Κεφ 6. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) (2000α). Απογραφή οικοδομών - κτιρίων της 1ης Δεκεμβρίου 2000. Πίνακας 6B: (Συγκεντρωτικός) Κτίρια κατά χρήσεις ή προορισμός χρήσεων (αποκλειστική και μικτή).
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) (2000β). Απογραφή οικοδομών - κτιρίων της 1ης Δεκεμβρίου 2000. Κτίρια κατά χρήση και αριθμό των κανονικών κατοικιών τους.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) (2001α). Μόνιμος πληθυσμός. Νομοί, δήμοι, κοινότητες, δημοτικά και κοινοτικά διαμερίσματα και οικισμοί
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) (2001β). Απογραφή πληθυσμού της 18ης Μαρτίου 2001. Πίνακας 11, Κανονικές κατοικίες κατά φορέα ιδιοκτησίας και μη κανονικές κατοικίες.
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΕΜΠ (2010). Προκαταρκτική Έρευνα – Μελέτη Σκοπιμότητας για την Μετατροπή του Νησιού Αγκίστρι σε Πράσινο Νησί, Τελική Έκθεση, σελ. 259.
- Εταιρία Υδρεύσεως & Αποχετεύσεως Πρωτευούσης Α.Ε. (Ε.ΥΔ.Α.Π.) (2010). Ετήσια Έκθεση του διοικητικού συμβουλίου για την οικονομική χρήση του έτους 2009.
- Ζαμπετάκης, Λ. (2000). Αποκατάσταση εδαφών δια της μεθόδου της φυτοεξυγίανσης. Παρουσίαση μαθηματικού μοντέλου για την πρόσληψη ξενοβιοτικών ουσιών από φυτά. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης (2007). Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων. Μέρος 1: Υδρευτικά Έργα. Παράγραφος: Υδρευτικές Καταναλώσεις. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παπαντώνης, Δ. (2002). Υδροδυναμικές Μηχανές: Αντλίες – Υδροστρόβιλοι. Κεφ 2: Φυγόκεντρες Αντλίες – Γενικές Αρχές. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Παρανυχιανάκης, Ν., Ο., Κοτσελίδου, Ε., Βαρδάκου, Α., Αγγελάκης (2009). Οδηγίες ανακύκλωσης επεξεργασμένων εκρών αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα. Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδας, Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης. Λάρισα.
- ΦΕΚ 87/τ.Α'/2010. Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης - Πρόγραμμα Καλλικράτης.
- ΦΕΚ 354/τ.Β'/2011. Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις.

- Al-Hamaiedeh, H., M., Bino (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256, p. 115–119.
- Balkema, A.J., H.A., Preisig, R., Otterpohl, F.J.D., Lambert (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water* 4 (2), 153-161.
- Bartram, J., L., Fewtrell, T.-A., Stenström (2001). Harmonised assessment of risk and risk management for water-related infectious disease: an overview. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Bartram, J., R., Ballance (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. UNEP/WHO.
- Beal, C. D., R. A., Stewart, T., Huang (2010). South East Queensland Residential End Use Study: Baseline results – Winter 2010. Urban Water Security Research Alliance Technical, Report No. 31.
- Birks, R. (1998). Biological aerated filters and membranes for greywater treatment. MSc Thesis, Cranfield University.
- Butler, D., C., Makropoulos, (2006). Water Related Infrastructure for Sustainable Communities. Technological Options and Scenarios for Infrastructure Systems, Environment Agency Science Report SC05002501.
- Christova-Boal, D., R. E., Eden, S., McFarlane (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, 106, 391–397.
- Coombes, P. J., G., Kuczera (2002). Integrated urban water cycle management: moving towards system understanding. In: *Proceedings of the 2nd National Conference on Water Sensitive Urban Design*, Engineers Australia, 2-4 September 2002, Brisbane, Australia.
- Davies, W. J., M. S., Le, C. R., Heath (1998). Intensified activated sludge process with submerged membrane microfiltration. *Water Science and Technology*, 38, 4-5, 421-428.
- Deere, D., M., Stevens, A., Davison, G., Helm, A., Dufour (2001). Management strategies. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Dixon, A., D., Butler, A., Fewkes, M., Robinson (1999). Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water*, 1, 293–306.
- Domene, E., D., Saury (2006). Urbanisation and water consumption: influencing factors in the Metropolitan Region of Barcelona. *Urban Studies*, Vol. 43, No. 9, 1605–1623.

- Domènech, L., D., Saurí (2010). Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, p. 53–62.
- Eisenberg, J.N.S., J., Bartram, P.R., Hunter (2001). A public health perspective for establishing water-related guidelines and standards. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Elmitwalli, T.A., M., Shalabi, C., Wendland, R., Otterpohl (2007). Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature. *Water Science and Technology*, 55 (7), 173–180.
- Eriksson, E., K., Auffarth, A.-M., Eilersen, M., Henze, A., Ledin (2003). Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. *Water SA.*, Vol. 29, No. 2, p 135-146.
- Eriksson, E., K., Auffarth, M., Henze, A., Ledin (2001). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4, 85–104.
- Eriksson, E., X., Yan, M., Lundsbye, T.S., Madsen, H.R., Andersen, A., Ledin (2007). Variation in grey wastewater quality reused for toilet flushing. *Proceeding of the 6th IWA Specialty Conference on Wastewater Reclamation and Reuse of Sustainability*, 9-12 October 2007, Antwerp, Belgium.
- Finley, S., S., Barrington, D., Lyew (2009). Reuse of domestic greywater for the irrigation of food crops. *Water Air & Soil Pollution*, Vol. 199, p. 235–245.
- Fletcher, T. D. and A. Deletic (2008). Data requirements for integrated urban water management. *Urban Water Series*, Vol 1, Taylor and Francis, UNESCO.
- Friedler, E., R., Kovalio, N.I., Galil (2005). On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science and Technology*, 51 (10), 187–194.
- Friedler, E., M., Hadari, (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination*, 190, 221–234.
- Gross, A., O., Shmueli, Z., Ronen, E., Raveh (2007). Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) — a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities. *Chemosphere*, 66 (5), 916–923.
- Haas, C., J.N.S., Eisenberg (2001). Risk assessment. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Hartley, T.W. (2006). Public perception and participation in water reuse. *Desalination*, 187, 115-126.
- Hernandez, L., H., Temmink, G., Zeeman, A., Marques, C., Buisman (2008). Comparison of three systems for biological grey water treatment. *Proceedings of Sanitation Challenge: New Sanitation Concepts and Models of Governance*, 357-364, Wageningen, The Netherlands.

- Hunter, P.R., L., Fewtrell (2001). Acceptable risk. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Hurlimann, A.C. (2009). Water supply in regional Victoria Australia: a review of the water cartage industry and willingness to pay for recycled water. Resources, Conservation and Recycling, 53, 262-268.
- Itayama, T., M., Kiji, A., Suetsugu, N., Tanaka, T., Saito, N., Iwami, M., Mizuochi, Y., Inamori (2006). On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic graywater. Water Science and Technology, 53 (9), 193–201.
- Jeffrey, P., (2002). Public attitudes to in-house water recycling in England and Wales. Water Environment Journal, 16, 214-217.
- Jeppesen, B., (1996). Domestic greywater reuse: Australia's challenge for the future. Desalination, 106, 311-315.
- Jones, P., N., Macdonald (2006): Making space for unruly water: Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff. Geoforum, 38, 534–544.
- Khan, S.J., L.E., Gerrard (2006). Stakeholder communications for successful water reuse operations. Desalination, 187, 191–202.
- Lekkas, D., E. Manoli, D. Assimacopoulos (2008). Integrated urban water modeling using the Aquacycle model, Global NEST Journal, Vol 10, No 3, pp 310-319.
- Lesjean, B., R., Gnriss (2006). Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. Desalination, 199 (1-3), 432–434.
- Li, F., Behrendt, J., Wichmann, K., Otterpohl, R. (2008). Resources and nutrients oriented greywater treatment for non-potable reuses. Water Science and Technology, 57 (12), 1901 -1907.
- Li, F., K., Wichmann, R., Otterpohl (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. Science of the Total Environment, 407, 3439–3449.
- Li, Z., F., Boyle, A., Reynolds (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. Desalination, 260, p. 1–8.
- Lin, C.-J., S.-L., Lo, C.-Y., Kuo, C.-H., Wu (2005). Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminium electrodes for on-site domestic greywater reuse. Environmental Engineering, Vol 131, 491–495.
- Liu, R., H., Huang, L., Chen, X., Wen, Y., Qian (2005). Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. Process Biochemistry, 40 (1), 125–130.
- Macgill, S., L., Fewtrell, J., Chudley, D., Kay (2001). Quality audit and the assessment of waterborne risk. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.

- Mackay, R., E., Last (2010). SWITCH city water balance: a scoping model for integrated urban water management. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. Volume 9. Number 4. Pages 291-296.
- Mah, D.Y.S., C.H.J., Bong, F.J., Putuhena, S., Said (2009). A conceptual modelling of ecological greywater recycling system in Kuching city, Sarawak, Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 113–21.
- Makropoulos, C. K., K., Natsis, S., Liu, K., Mittas, D., Butler (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *Environmental Modelling and Software*, 23 (12): 1448-1460.
- Makropoulos, C., K., D., Butler (2010). Distributed Water Infrastructure for Sustainable Communities. *Water Resources Management*, Vol 24, Num 11, p. 2795-2816.
- Mankad, A., S., Tapsuwan (2011). Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems. *Journal of Environmental Management*, 92, 380-391.
- March, J. G., M., Gual, F., Orozco (2004). Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*, 164 (3), 241–247.
- Marks, J., N., Cromar, H., Fallowfield, D., Oemcke (2003). Community experience and perceptions of water reuse. *Water Sci. Technol.*, 3, 9-16.
- Mathworks (2005). Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox User's Guide. Version 1. http://biounder.kaist.ac.kr/board/bx/docs/matlabman/gads_tb.pdf.
- Memon, F.A., D., Butler (2006). Water consumption trends and demand forecasting techniques. In: *Water Demand Management*. IWA Publishing, London.
- Menegaki, A. N., N., Hanley, K. P., Tsagarakis (2007). The social acceptability and valuation of recycled water in Crete: A study of consumers' and farmers' attitudes. *Ecological Economics*, 6 2, p. 7–1 8.
- Merz, C., R., Scheumann, B.E., Hamouri, M., Kraume (2007). Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination*, 215 (1-3), 37–43.
- Mitchell, V. G., C., Diaper (2006). Simulating the urban water and contaminant cycle. *Environmental Modelling and Software*, 21 (1): 129-134.
- Mitchell, V. G. (2006). Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian experience. *Environmental Management*. Volume 37. Number 5. Pages 589-605.

- Mitchell, V.G. (2005). Aquacycle: A daily urban water balance model, User Guide. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Department of Civil Engineering, Monash University.
<http://www.toolkit.net.au/Tools/Aquacycle/documentation>.
- Mitchell, V.G., R.G., Mein, T.A., McMahon (1997). Modelling the possible utilisation of stormwater and wastewater within an urban catchment. In: Proceedings of the Australian Water and Wastewater Association 17th Federal Convention Conference, Melbourne, 16– 21 March 1997, AWWA, vol. 2, pp. 65–72.
- Mitchell, V.G., R.G., Mein, T.A., McMahon (2001). Modelling the urban water cycle. *Environmental Modelling & Software*, 16 (7): 615-629.
- Newman, P., Mouritz, M., (1996). Principles and planning opportunities for community scale systems of water and waste management. *Desalination*, 106, 339-354.
- Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management – present and future challenges. *Urban Water*, 1 (1), 1–14.
- Nolde, E. (1999). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin. *Urban Water* 1 (4), 275-284.
- Ohanian, H. C. (1989). Φυσική. Τόμος Α: Μηχανική – Θερμοδυναμική, Κεφ 20: Θερμότητα. Μετάφραση: Α. Φίλιππας, 1991. Εκδόσεις Συμμετρία.
- Ottoson, J., T.A., Stenström (2003). Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. *Water Research*, Vol. 37, 3, p. 645-655.
- Parkes, C., H., Kershaw, J., Hart, R., Sibille, Z., Grant (2010). Energy and Carbon Implications of Rainwater Harvesting and Greywater Recycling. Science Project Number: SC090018, Environment Agency, Bristol.
- Parsons, S.A., C., Bedel, B., Jefferson (2000). Chemical vs. biological treatment of domestic greywater. Proceedinds of the 9th Intl. Gothenburg Symosyum on Chemical Treatment, 2-4th October 2000, Istanbul, Turkey.
- Payment, P., P.R., Hunter (2001). Endemic and epidemic infectious intestinal disease and its relationship to drinking water. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Pidou, M., L., Avery, T., Stephenson, P., Jeffrey, S.A., Parsons, S., Liu, F.A., Memon, B., Jefferson (2008). Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*, 71(1), 147–55.
- Pinto, U., B.L., Maheshwari, H.S., Grewal (2010). Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. *Resources Conservation and Recycling*, Vol. 54, p. 429–435.

- Prüss, A., A., Havelaar (2001). The Global Burden of Disease study and applications in water, sanitation and hygiene. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. World Health Organization, London. ISBN: 1 900222 28 0.
- Rozos, E., C., Makropoulos, D., Butler (2010). Design robustness of local water-recycling schemes. *Journal of Water Resources Planning and Management* 136 (5), 531-538.
- Rozos, E., (2009). UWOT Manual.
- Ryana, A. M., C. L., Spash, T. G., Measham (2009). Socio-economic and psychological predictors of domestic greywater and rainwater collection: Evidence from Australia. *Journal of Hydrology*, 379, 164–171.
- Santala, E., J., Uotila, G., Zaitsev, R., Alasiurua, R., Tikka, J., Tengvall (1998). Microbiological greywater treatment and recycling in an apartment building. In AWT98 – Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse: Milan, 14–16 September, 1998 (pp. 319–324).
- Shin, H.-S., S.-M., Lee, I.-S., Seo, G.-O, Kim, K.-H., Lim, J.- S., Song (1998). Pilot-scale SBR and MF operation for the removal of organic and nitrogen compounds from greywater. *Water Science Technology*, 38(6), 79–88.
- Sostar-Turk, S., I., Petrinic, M., Simonic (2005). Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resources, Conservation and Recycling*, 44 (2), 185-196.
- Tsagarakis, K. P., P., Tsoumanis, K., Chartzoulakis, A., N., Angelakis (2001). Water resources status including wastewater treatment and reuse in Greece: Related Problems and Perspectives. *Water International*, 26: 2, 252—258.
- Tsagarakis, K. P., D. D., Mara, A. N., Angelakis (2003). Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. *Water Air and Soil Pollution ;* 142: 187 – 210.
- Venkatesh., G., H., Brattebø (2011). Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). *Energy xxx*, p. 1-9.
- Ward, M. (2000). Treatment of domestic greywater using biological and membrane separation techniques. MPhil thesis, Cranfield University, UK.
- Ward, S., H., Abdelmeguid, R., Farmani, F. A., Memon, D., Butler. Sustainable Water Management – Modelling Acceptability for Decision Support: A Methodology.
- Wiel-Shafran, A., Z., Ronen, N., Weisbrod, E., Adar, A., Gross (2006). Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecological Engineering*, 26, p. 348–354.

Willis, R. M., R. A., Stewart, P. R., Williams, C. H., Hacker, S. C., Emmonds, G., Capati (2011). Residential potable and recycled water end uses in a dual reticulated supply system. *Desalination*, 272, p. 201–211.

Willis, R., R. A., Stewart, K., Panuwatwanich, B., Capati, D., Giurco, (2009). Gold Coast Domestic Water End Use Study. Community Consultation, September 2009, p. 79-85.

World Health Organisation (WHO) (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume IV: Excreta and Greywater Use in Agriculture. 3rd Edition, World Health Organisation, Geneva.

World Health Organisation (WHO) (2006α). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume I: Policy and regulatory aspects. 3rd Edition, World Health Organisation, Geneva.

<http://www.agistri.com.gr>

[http://el.wikipedia.org/wiki/Αγκίστρι_\(νησί\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Αγκίστρι_(νησί))

<http://www.bankofgreece.gr/BogIsotimiespdf/2011/20110701.01.124.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Κεφάλαιο 2

Πιν Α-1 Επιμέρους καταναλώσεις νερού, σε διάφορα ευρωπαϊκά κράτη (Πηγή: *Memon and Butler, 2006*)

Appliance	England & Wales	Finland	France	Germany
Toilet	9.5 l/flush	6 l/flush	9 l/flush	9 l/flush
Washing machine	80 l/cycle	74-117 l/cycle	75 l/cycle	72-90 l/cycle
Dishwasher	35 l/cycle	25 l/cycle	24 l/cycle	27-47 l/cycle
Shower	35 l/shower	60 l/shower	16 l/minute	30-50 l/shower
Bath	80 l/bath	150-200 l/bath	100 l/bath	120-150 l/bath

Πιν Α-2 Κατανομή ημερήσιας ατομικής υδατικής κατανάλωσης για διάφορες περιοχές της Αυστραλίας (Πηγή: *Willis et al., 2009*)

	Perth (2003)		Melbourne (2005)		Auckland (2007)		Gold Coast (2008)	
	L/pc/d	Per cent	L/pc/d	Per cent	L/pc/d	Per cent	L/pc/d	Per cent
Clothes washer	42.0	13%	40.4	19%	39.9	24%	30.0	19%
Shower	51.0	15%	49.1	22%	44.9	27%	49.7	33%
Tap	24.0	7%	27.0	12%	22.7	14%	27.0	17%
Dishwasher	NA	NA	2.7	1%	2.1	1%	2.2	1%
Bathtub	NA	NA	3.2	2%	5.5	3%	6.5	4%
Toilet (total)	33.0	10%	30.4	13%	31.3	19%	21.1	13%
Irrigation (total)	180†	54%	57.4†	25%	13.9	8%	18.6	12%
Leak (total)	5.0	1%	15.9	6%	7.0	4%	2.1	1%
Other	NA	NA	0.0	0%	0.8	0%	0.0	0%
Total Consumption	335.0	100%	226.2	100%	168.1	100%	157.2	100%

Πιν Α-3 Παραδείγματα παραγωγής γκρι νερού σε διάφορες χώρες (L/d/κατ) (Πηγή: WHO, 2006).

Location	Greywater production (litres per person per day)	Reference
China, ecological sanitation project	80	EcoSanRes (2005b)
Belgium	85	Bertaglal et al. (2005)
Germany	35–65	Panesar & Lange (2001)
Germany, Eco-village Flintenbreite	60	Ridderstolpe (2004)
Germany, Norway and Sweden, new built house area, water conservation	<100	Ridderstolpe (2004); Winblad & Simpson-Hébert (2004)
Norway, ecovillage	81	Kristiansen & Skaarer (1979)
Norway, student dormitories, water conservation	112	Jenssen (2001)
Sweden, range for ecovillages	66–110	Vinnerås et al. (2006)
Sweden, proposed norm	100	Vinnerås et al. (2006)
Sweden, existing norm	150	Vinnerås et al. (2006)
Europe, northern part	110	Lens, Zeeman & Lettinga (2001)
Australia, western part	112	Department of Health (2002)
USA	200	Crites & Tchobanoglous (1998); Bertaglal et al. (2005)
Developing regions	20–30	Ridderstolpe (2004); Winblad & Simpson-Hébert (2004)
Range	70–275	Otterpohl (2002)

Σημείωση: Οι παραπομπές του σχήματος δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκε όμως καλύτερο να παραμείνουν στο σχήμα.

Κεφάλαιο 4

Πιν Α-4 Επισκόπηση συγκεντρώσεων βασικών παραμέτρων ποιότητας ανεπεξέργαστου ή πρωταβάθμια επεξεργασμένου γκρι νερού (Πηγή: WHO, 2006).

Country/reference	Parameters							
	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	Suspended solids (mg/l)	Total N (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Kjeldahl N (mg/l)	Total P (mg/l)	Faecal coliforms (log numbers/ 100 ml)
Canada / Brandes (1978)	149	366	162	11.5	1.7	11.3	1.4 ^a	6.2
Norway / Kristiansen & Skaarer (1979)	130	341	35	19	11.5		1.3 (0.42 ^b)	5.1
USA ^c / Siegrist & Boyle (1981)	178	456	45			15.9	4.4	6.2
Sweden norm / Naturvårdsverket (1995)	187		107	6.7			4 (1.0 ^b)	
Norway ^c / Rasmussen, Jenssen & Westlie (1996)	116		39	42.2	36.1		3.97	
Australia / Department of Health (2002)	160		115		5.3	12	8	5.2
Norway ^c / Jenssen (2001)	88	277	–	8.8	3.8	4.9	1.0 ^b	4–6
Sweden proposed norm / Vinnerås et al. (2006)	260 ^c	520		13.6			5.2	
Germany / Li et al. (2004)	73– 142			8.7– 13.1	2.5		6.8– 9.2	4–6
Malaysia ^d / Jenssen et al. (2005)	128	212	75	37	12.6	22.2	2.4	5.8

BOD₅, five-day biological oxygen demand

^a Excluding laundry.

^b Phosphorus-free detergents.

^c BOD₇, seven-day biological oxygen demand, for the Swedish proposed norm.

^d Septic tank effluent.

Πιν Α-5 Δημοσιευμένες τιμές βακτηριακών δεικτών στο γκρι νερό και σε επιμέρους τμήματα του νοικοκυριού (Πηγή: Ottosson and Stenstrom, 2003).

Wastewater origin	Total coliforms	Thermotolerant coliforms	<i>E. coli</i>	Faecal enterococci
Bath, hand basin			4.4	1.0–5.4
Laundry	3.4–5.5	2.0–3.0		1.4–3.4
Shower, hand basin	2.7–7.4	2.2–3.5		1.9–3.4
Greywater	7.9	5.8		2.4
Shower, bath	1.8–3.9	0–3.7		0–4.8
Laundry, wash	1.9–5.9	1.0–4.2		1.5–3.9
Laundry, rinse	2.3–5.2	0–5.4		0–6.1
Greywater	7.2–8.8			
Hand basin, kitchen sink		5.0		4.6
Greywater		5.2–7.0	3.2–5.1	
Greywater, 79% shower	7.4	4.3–6.9		
Kitchen sink		7.6	7.4	7.7
Greywater		5.8	5.4	4.6

Πιν Α-6 Τρόποι έκθεσης σε παθογόνα του γκρι νερού, σημεία-διεργασίες που σχετίζονται με τη μετάδοσή τους και ποσότητες εκθέσεως (Πηγή: WHO, 2006).

Exposure	Health-related modelling units involved	Volume ingested
1) Drinking recharged groundwater (yearly risk from 365 exposures)	Dilution, ^a unsaturated zone ^a and saturated zone	$e^{(6.87 \pm 0.53)}$ ml/day ^b
2) Accidental ingestion of treated greywater (one-time exposure)	Pond	1 ml/exposure
3) Ingestion from a field irrigated with treated greywater (yearly risk from 26 exposures)	Survival on grass	1 ml/exposure
4) Ingestion/inhalation of aerosols	Tank	$e^{(-4.2 \pm 2.2)}$ ml ^{c,d}
5) Swimming in recreational water receiving treated greywater	Dilution	$e^{(3.9 \pm 0.3)}$ ml
6) Untreated greywater, <i>Salmonella</i> regrowth	Sink trap (growth) ^e	0.1 g

^a Asano et al. (1992).

^b Roseberry & Burmaster (1992).

^c Dowd et al. (2000).

^d Kincaid, Solomon & Oliphant (1996).

^e Ottosson & Stenström (2003b).

Πιν Α-7 Κοπρανώδεις δείκτες σε ένα σύστημα γκρι νερού και το υπολογιζόμενο κοπρανώδες φορτίο, με μία μέση παροχή 64,9 λίτρα ανά άτομο ανά ημέρα (Πηγή: WHO, 2006).

Organism/biomarker	Mean	Min	Max	Excretion density (log numbers/100 ml or mg/g faeces)	Mean faecal load (min–max) (g/person per day)
Coliform bacteria	8.1	5.5	8.7		
<i>E. coli</i>	6.0	4.3	6.8	10 ^{7a}	65 (1.3–410)
Enterococci	4.4	3.0	5.1	10 ^{6.5a}	5.2 (0.2–26)
Sulfite-reducing anaerobes	3.3	2.3	4.8		
Somatic coliphages	3.3	1.4	4.0		
Coprostanol (μg/l)	8.6	3.1	14.9	12.74 ^b	0.04 (0.016–0.076)
Cholesterol (μg/l)	17.3	7.4	31.6	5.08 ^b	0.22 (0.094–0.40)

Min = minimum; max = maximum

^a Geldreich (1978).

^b Leeming, Nichols & Ashbolt (1998).

Πιν Α-8 Εμφάνιση μικροβιακών δεικτών ως πλήθος ανά άτομο ανά ημέρα και το αντίστοιχο κοπρανώδες φορτίο (ροή 64,9 λίτρα ανά άτομο ανά ημέρα) (Πηγή: WHO, 2006).

Organism	Indicators in greywater	Excretion rate (per gram of faeces)	Faecal load (g per person per day)
<i>E. coli</i>	10 ^{8.8} cfu	10 ⁷ cfu	65
Faecal enterococci	10 ^{7.2} cfu	10 ^{6.5} cfu	5.4
Coprostanol	0.56 mg	12.74 mg	0.04

Source: Ottosson & Stenström (2003a).

Πιν Α-9 Ποσοστά αποσύνθεσης κάποιων μικροοργανισμών σε διάφορα περιβάλλοντα, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (Πηγή: WHO, 2006).

Microorganism	Decay rate (log/day)	Matrix	Temperature (°C)	Method	Reference
Bacteria					
<i>Salmonella typhimurium</i>	-0.048 ± 0.0092	Greywater	4	Culture	Ottosson & Stenström (2003b)
	-0.12 ± 0.0011	sediment	20		
<i>Campylobacter jejuni</i>	-0.36	Greywater	ambient	Culture	Thomas, Hill & Mabey (1999)
	-1.30 ± 0.16	River water	25		
	-0.11 ± <0.01	with sediment	15		
Enterococci (bacterial indicator)	-0.02 ± <0.01	Greywater sediment	5	ISO 7899-2	Ottosson & Stenström (2003b)
	-0.032 ± 0.016		4		
	-0.078 ± 0.038		20		
Viruses					
Rotavirus	-0.016 ± 0.010	Liquid waste	12–17	Cell culture	Pesaro, Sorg & Metzler (1995)
	-0.119 ± 0.00835 ^b	Grass	4–16		
ΦX174 bacteriophage (viral indicator)	-0.018 ± 0.0048	Sediment	4	ISO 10705-2	Ottosson & Stenström (2003b)
	-0.11 ± 0.031		20		
MS2 bacteriophage (viral indicator)	-0.021 ± 0.0069	Sediment	4–20	ISO 10705-1	Ottosson & Stenström (2003b)
	-0.029 ± 0.024	Groundwater	4	Plaque assay	Yates, Gerba & Kelley (1985)
Parasites					
<i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts	-0.006 ± 0.031	River water	15	Excystation	Medema, Bahar & Schets (1997)
	-0.010 ± 0.032		5		
	-0.011 ± 0.008		15		
<i>Giardia intestinalis</i> cysts	-0.010 ± 0.016	Water	5	Dye exclusion	Romig (1990)
	-0.042		25		
Spores of sulfite-reducing anaerobes (parasite indicator)	-0.00045 ± 0.0027	Sediment	4–20	ISO 6461/2	Ottosson & Stenström (2003b)
	-0.027 ± 0.0043	River water	15	Culture	Medema, Bahar & Schets (1997)
	-0.012 ± 0.0031		5		

^a Values other than for greywater were used as reference values.

^b Per hour.

Πιν Α-10 Επιβίωση (σε ημέρες) διάφορων μικροοργανισμών επάνω σε καρπούς στους 20-30 °C
(Πηγή: WHO, 2006)

Organism	Survival on crops (days)
Viruses	
Enteroviruses ^a	<60 but usually <15
Bacteria	
Thermotolerant coliforms	<30 but usually <15
<i>Salmonella</i> spp.	<30 but usually <15
<i>Shigella</i> spp.	<10 but usually <5
<i>Vibrio cholerae</i>	<5 but usually <2
Protozoan cysts	
<i>Entamoeba histolytica</i> cysts	<10 but usually <2
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	<3 but usually <2
Helminths	
<i>Ascaris</i> eggs	<60 but usually <30
Tapeworm eggs	<60 but usually <30

^a Poliovirus, echovirus and coxsackievirus.

Sources: Feachem et al. (1983); Strauss (1985); Robertson, Campbell & Smith (1992); Jenkins et al. (2002); Warnes & Keevil (2003).

Πιν Α-11 Εκτιμώμενη επιβίωση και ενδιάμεση μείωση παθογόνων μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση λύσος, είτε εντός εδάφους (Πηγή: WHO, 2006)

Microorganism	Survival at 20–30 °C (days) ^a		Time needed for 90% inactivation of pathogen (T ₉₀) at ~20 °C (days) ^a		Absolute max ^d / normal max survival in soil ^e
	Faeces and sludge ^b	Soil ^b	Faeces ^c	Soil ^c	
Bacteria					1 year / 2 months
Thermotolerant coliforms	<90, usually <50	<70, usually <20	<i>E. coli</i> : 15–35	<i>E. coli</i> : 15–70	
<i>Salmonella</i>	<60, usually <30	<70, usually <20	10–50	15–35	
Viruses					1 year / 3 months
	<100, usually <20	<100, usually <20	rotavirus: 20–100 hepatitis A: 20–50	rotavirus: 5–30 hepatitis A: 10–50	
Protozoa (<i>Entamoeba</i>)					? / 2 months
	<30, usually <15 ^f	<20, usually <10 ^e	<i>Giardia</i> : 5–50 <i>Cryptosporidium</i> : 20–120	<i>Giardia</i> : 5–20 <i>Cryptosporidium</i> : 30–400	
Helminths (eggs)					7 years / 2 years
	Several months	Several months	<i>Ascaris</i> : 50–200	<i>Ascaris</i> : 15–100	

?, unknown; max, maximum

^a Estimated survival times and decimal reduction values of pathogens during storage of faeces and in soil; presented in days if not stated otherwise.

^b Feachem et al. (1983).

^c Schönning et al. (in press).

^d Absolute maximum for survival is possible under unusual circumstances, such as at constantly low temperatures or under well protected conditions (Feachem et al., 1983).

^e Kowal (1985).

^f Data are missing for *Giardia* and *Cryptosporidium*; their cysts and oocysts might survive longer than presented here for protozoa (Feachem et al., 1983).

Πιν Α-12 Ετήσια κατανάλωση χημικών προϊόντων του νοικοκυριού (Πηγή: Eriksson et al., 2001).

Table 1
Calculation of the yearly consumption of household products per person

Chemical product	Country	Yearly consumption (10 ⁶ kg)	Yearly consumption per person (kg person ⁻¹ year ⁻¹)
Household and industrial detergents	Denmark	105 ^a	19.8
Household detergents	Sweden	4.4 ^b	0.5
Laundry detergents	Denmark	40 ^c	7.5
Laundry detergents	Finland	27 ^c	5.2
Laundry detergents	Norway	23 ^c	5.2
Laundry detergents	Sweden	49 ^c	5.5
Laundry detergents	USA	1000 ^d	3.7
Shampoo and conditioners	Denmark	12 ^e	2.3
Shampoo	Sweden	8–10 ^b	0.9–1.1
Soap	Sweden	8 ^b	0.9
Softeners	Europe	–	6.0 ^f

Πιν Α-13 Ομάδες χημικών ενώσεων που βρέθηκαν σε χημικά προϊόντα νοικοκυριών της Δανίας (Πηγή: Eriksson et al., 2001).

Table 2
Groups of compounds found in common household chemicals in Denmark

Compound group	Number of substances in the group
Amphoteric detergents	20
Anionic detergents	73
Cationic detergents	34
Non-ionic detergents	65
Bleaches	16
Dyes	26
Emulsifiers	28
Enzymes	4
Fragrances and flavours	197
Preservatives	79
Softeners	29
Solvents	67
UV filters	23
Miscellaneous	238

Πιν Α-14 Χημικές ουσίες με μεγαλύτερη διαβάθμιση επικινδυνότητας (Πηγή: *Eriksson et al., 2001*).

Compound group	Compound	Priority	Compound group	Compound	Priority
Amphoteric detergents	Cocamidopropyl betaine	2	Dyes	3,3'-Dichlorobenzidine	1
	Alkylamide betaines	3		4,4'-Methylenebis-(2-chlorobenzeneamine)	2
	Alkylamidopropyl betaines	3		<i>o</i> -Aminoazotoluene	2
	Alkyl betaines	3		Benzidine	3
	Amidopropyl betaines	3	<i>o</i> -Anisidine	3	
	Amphoglycinates	3	Fragrances and flavours	Hexyl cinnamic aldehyde	1
	Lauriminodipropionates	3		AHTN	2
	Lauroamphodiacetates	3		HHCB	2
Anionic detergents	α -Methylestersulphonate	2		Styrene	2
	α -Olefinsulphonate	2		Benzene-1,3-diol	3
	Alkyl benzene sulphonates	2	<i>p</i> -Cresol	3	
	Sulphonates	2	Preservatives	Bronopol	1
	Alkane sulphonates	3		Bronidox	1
	Alkyl ether sulphates	3		5-Chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one	1
	Alkyl sulphates	3		Imidazolidinyl urea	1
	Alkyl sulphosuccinates	3		Triclosan	1
Isotridecanol ethoxylates	3	Quaternium-15		3	
Panthenol	3	Softeners	Bis-(2-ethylhexyl)phthalate (DEPH)	1	
Cationic detergents	Benzalkonium chloride		1	Diisononylphthalate (DNP)	1
	N-Hexadecyltrimethyl ammonium chloride		1	Ethylenediaminetetramethylene phosphonate (EDTMP)	1
	DHTDMAC		1	Phosphonates	1
	DSDMAC		1	Dibutylphthalate (DBP)	2
	DTDMAC		2	Diethylphthalate (DEP)	3
	Alkyltrimethylammonium chloride		3	Nitrilotriacetic acid (NTA)	3
	DADMAC		3	Solvents	Heptane
Non-ionic detergents	Alkylphenol ethoxylates (APEO)	1	1,2,4-Trichlorobenzene		2
	Nonyl phenol (NPE)	1	Diethanolamine		3
	Alcohol ethoxylates (AEO)	2	Ethanolamine		3
	Alkyl amide ethoxylates	2	Isopropanol		3
	Alkyl amine ethoxylates	2	Phenol		3
	Fatty alcohols (EO/PO) polymers	2	Xylene	3	
	Fatty alcohol ethoxylates (AEO)	2	Misc.	2-Propene nitrile	3
	Coconut diethanolamide	2			
Ethylene glycol	3				

Priority 1: Not biodegradable, potentially bioaccumulative; BCF > 100, log K_{ow} > 3, EC/LC₅₀ < 1 mg l⁻¹ and N; R50/53. Priority 2: Biodegradable, potentially bioaccumulative; BCF > 100, log K_{ow} > 3, EC/LC₅₀ < 1 mg l⁻¹ and N; R50/53. Priority 3: Biodegradable, not potentially bioaccumulative; BCF < 100, log K_{ow} < 3, EC/LC₅₀ < 1 mg l⁻¹ and N; R50.

Κεφάλαιο 5

Πιν Α-15 Μείωση παθογόνων, με τη χρήση διαφόρων μέτρων προστασίας της υγείας (Πηγή: WHO, 2006).

Control measure ^a	Pathogen reduction (log units)	Notes
Excreta storage without fresh additions	6	The required pathogen reduction to be achieved by excreta treatment refers to the stated storage times and conditions in Tables 4.4–4.6 (below) without addition of fresh untreated excreta (faeces and urine) as based on measurements and risk calculations. Pathogen reductions for different treatment options are presented in chapter 5, and examples of risk calculations in chapter 3.
Greywater treatment	1–>4	Values relate to the treatment options described in chapter 5. Generally, the highest exposure reduction is related to subsurface irrigation.
Localized (drip) irrigation with urine (high-growing crops)	2–4	Crops, where the harvested parts are not in contact with the soil.
Materials directly worked into the soil	1	Should be done at the time when faeces or urine is applied as a fertilizer.
Pathogen die-off (withholding time one month)	4–>6	A die-off of 0.5–2 log units per day is cited for wastewater irrigation. The reduction values cited here are more conservative to account for a slower die-off of a fraction of the remaining organisms. The log unit reduction achieved depends on climate (temperature, sunlight intensity, humidity), time, crop type and other factors.
Produce washing with water	1	Washing salad crops, vegetables and fruit with clean water.
Produce disinfection	2	Washing salad crops, vegetables and fruit with a weak disinfectant solution and rinsing with clean water.
Produce peeling	2	Fruits, root crops.
Produce cooking	6–7	Immersion in boiling or close-to-boiling water until the food is cooked ensures pathogen destruction.

Sources: Beuchat (1998); Petterson & Ashbolt (2003); NRMCC & EPHCA (2005).

Πιν Α-16 Προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης νερού σε διάφορα κράτη, για χρήσεις άρδευσης, διάθεσης σε υδάτινους δέκτες και για το καζανάκι της τουαλέτας (Πηγή: Li et al., 2009).

	pH	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	Turbidity (NTU)	BOD ₅ (mg/l)	Detergent TN (anionic) (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	TP (mg/l)	Dissolved O ₂ (mg/l)	Residual Cl (mg/l)	Total coliform	Faecal coliform	Reuse application
Nolde, 1999, Germany	-	-	-	-	5 mg/l (BOD ₇)	-	-	-	>50%	-	<100/ml	<10/ml	Toilet flushing
Ernst et al., 2006, China	6-9	-	<1500	<5	<10	1	-	<10	-	>1 mg/l after 30 min. >0.2 mg/l at point of use	-	<3/100 ml	Toilet flushing
	6-9	-	<1000	<20	<20	1	-	<20	>1	>1 mg/l after 30 min. >0.2 mg/l at point of use	-	<3/100 ml	Irrigation purpose
	6-9	-	>1000	<5	<6	0.5	-	<10	-	>1 mg/l after 30 min. >0.2 mg/l at point of use	-	<3/100 ml	Washing purpose
	6-9	-	-	-	<6	0.5	15	<5	<0.5	>1.5	-	<10000/100 ml	Restricted impoundments and lakes
	6-9	-	-	<5	<6	0.5	15	<5	<0.5	>2	-	<500/100 ml	Unrestricted impoundments and lakes
Asano, 2007, USA	6-9	-	-	<2	10	-	-	-	-	1 mg/l	-	ND /100 ml	Unrestricted reuses *
	6-9	30	-	-	30	-	-	-	-	1 mg/l	-	<200 /100 ml	Restricted reuses **
Maeda et al., 1996, Japan	5.8-8.6	-	-	Not unpleasant	≤20	-	-	-	-	Retained	≤1000/ml	-	Toilet flushing
	5.8-8.6	-	-	Not unpleasant	≤20	-	-	-	-	≥0.4	≤50/ ml	-	Landscape irrigation
	5.8-8.6	-	-	≤10	≤10	-	-	-	-	-	≤1000/ml	-	Environmental (aesthetic settling)
	5.8-8.6	-	-	≤5	≤3	-	-	-	-	-	≤50/ ml	-	Environmental (limited public contact)
	5.8-8.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Australia, Queensland (2003)	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	<100/100 ml	-	-

ND: non-detectable *Toilet flushing, landscape irrigation, car washing and agricultural irrigation.

**Irrigation of areas where public access is infrequent and controlled golf courses, cemeteries, residential, greenbelt.

Πιν Α-17 Προτεινόμενα όρια μη πόσιμων εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού (Πηγή: Li et al., 2009).

Categories	Treatments goals	Applications
Recreational impoundments, lakes	Unrestricted reuses BOD ₅ : ≤10 mg/l TN: ≤1.0 mg/l TP: ≤0.05 mg/l Turbidity: ≤2 NTU pH: 6-9 Faecal coliform: ≤10/ml Total coliforms ≤100/ml	Ornamental fountains; recreational impoundments, lakes and ponds for swimming
	Restricted reuses BOD ₅ : ≤30 mg/l TN: ≤1.0 mg/l TP: ≤0.05 mg/l TSS: ≤30 mg/l pH: 6-9 Faecal coliforms ≤10/ ml Total coliforms ≤100/ ml	Lakes and ponds for recreational without body contact
Urban reuses and agricultural irrigation	Unrestricted reuses BOD ₅ : ≤10 mg/l Turbidity: ≤2 NTU pH: 6-9 Faecal coliform: ≤10 / ml Total coliforms ≤100/ ml Residual chlorine: ≤1 mg/l	Toilet flushing; laundry; air conditioning, process water; landscape irrigation; fire protection; construction; surface irrigation of food crops and vegetables (consumed uncooked) and street washing
	Restricted reuses BOD ₅ : ≤30 mg/l Deterge t (anionic): ≤1 mg/l TSS: ≤30 mg/l pH: 6-9 Faecal coliforms ≤10/ml Total coliforms ≤100/ml Residual chlorine: ≤1 mg/l	Landscape irrigation, where public access is infrequent and controlled; subsurface irrigation of non-food crops and food crops and vegetables (consumed after processing)

Κεφάλαιο 7

Πιν Α-18 Ενδεικτικό πρόγραμμα εργασιών συντήρησης εξαρτημάτων, για συστήματα γκρι νερού (Πηγή: Parkes et al., 2010)

System component	Notes	Frequency*
Filters, membranes, biological support media and strainers	Check the condition of the filter(s) etc and clean or replace, if necessary	Annually
Biocide, disinfectant or other consumable chemical	Check that any dispensing unit is operating appropriately; replenish the chemical supply if needed	Monthly
UV lamps (where fitted)	Clean and replace, if necessary	Every 6 months
Storage tank/cisterns	Check that there are no leaks, that there has been no build up of debris and that all tanks and cisterns are stable and the covers are correctly fitted	Annually
Storage tank/cisterns	Drain down and clean the tanks and cisterns	Every 10 years
Pumps and pump controls	Check that there are no leaks and that there has been no corrosion; carry out a test run; check the gas charge within any expansion vessels or shock arrestors	Annually
Back-up water supply	Check that the back-up supply is functioning correctly and that the air gaps are maintained	Annually
Control unit	Check that the unit is operating appropriately, including the alarm functions where applicable	Annually
Water level gauge (if fitted)	Check that any gauge indication responds correctly to the water level in the supply tank or cistern	Annually
Wiring	Visually check that the wiring is electrically safe	Annually
Pipework	Check that there are: no leaks, the pipes are watertight and any overflows are clear. This includes the collected and treated greywater supplies, any backwash supply and the back-up water supply.	Annually
Markings	Check that warning notices and pipework and valve identification are correct, visible and in place	Annually
Supports and fixings	Adjust and tighten, where applicable	Annually
Backwash	Check functionality	Annually
* These frequencies are recommended if no information is given by the manufacturer.		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Μελέτη Περίπτωσης της Νήσου «Αγκίστρι»

Ορισμοί από την Ελληνική Στατιστική Εταιρία

Μη κανονικές κατοικίες θεωρούνται οι κατασκευές από ευτελή και πρόχειρα υλικά, χωρίς προκαθορισμένο σχέδιο, προοριζόμενες ή μη για κατοικία, οι οποίες βρέθηκαν να κατοικούνται την ημέρα της απογραφής. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και οι κινητές κατοικίες.

- i. Άλλου είδους χώροι προοριζόμενοι για κατοικία: είναι οι χώροι που έχουν κατασκευαστεί από φτηνά και πρόχειρα υλικά, όπως μια ξύλινη καλύβα, παράγκα, παράπηγμα, χωρίς προκαθορισμένο σχέδιο, με σκοπό την κατοίκηση από ένα νοικοκυριό.
- ii. Κινητή κατοικία: είναι κάθε τύπος κατοικίας που κατασκευάστηκε για να μεταφέρεται, όπως π.χ. σκηνή, ή μια κινητή μονάδα (π.χ. πλοίο, γιοτ, βάρκα, μαούνα, τροχόσπιτο), που προορίζεται για κατοίκηση και κατοικείται την ημέρα της απογραφής.
- iii. Άλλου είδους χώροι μη προοριζόμενοι για κατοικία: είναι οι χώροι, οι οποίοι δεν αποτελούν κανονική κατοικία ούτε έχουν κατασκευαστεί ή μετατραπεί για κατοικία, κατοικούνται, όμως, κατά το χρόνο της απογραφής από ένα ή περισσότερα νοικοκυριά. Τέτοιοι χώροι είναι οι σταύλοι, οι αχυρώνες, τα γκαράζ, οι αποθήκες, τα γραφεία, τα καταστήματα, υπόγειοι χώροι κλπ. και οι φυσικές σπηλιές.

Κανονική κατοικία μέσα σε συλλογική κατοικία είναι η κανονική κατοικία που βρίσκεται μέσα σε συλλογική κατοικία, δηλαδή σε ξενοδοχείο, νοσοκομείο, φυλακή, γηροκομείο κλπ., π.χ. κατοικία του διευθυντή της συλλογικής κατοικίας ή του υπηρετικού προσωπικού κλπ.

Δευτερεύουσα είναι η κατοικία που χρησιμοποιείται από το νοικοκυριό παράλληλα με την κύρια κατοικία χωρίς να είναι εξοχική. Οι κυριότερες περιπτώσεις δευτερεύουσας κατοικίας είναι:

- α) Κατοικία κοντά στον τόπο της επαγγελματικής δραστηριότητας του νοικοκυριού που χρησιμοποιείται συνεχώς όλο το χρόνο ή κατά διαστήματα ή κατά εποχές από μέλος ή μέλη του νοικοκυριού, παράλληλα με την κύρια κατοικία (π.χ. κατοικία επιχειρηματία κοντά στην επιχείρησή του, αγροικία, κατοικία κτηνοτρόφου μακριά από τον οικισμό της κύριας κατοικίας του, θερινή κατοικία νομάδων κτηνοτρόφων κλπ.).
- β) Κατοικία που χρησιμοποιείται για τη διαμονή ενός νοικοκυριού ή μέλους του νοικοκυριού ορισμένη εποχή του χρόνου αντί της κύριας κατοικίας του, π.χ. κατοικία στην Αθήνα νοικοκυριού που έχει την κύρια κατοικία του στην επαρχία.

Κενές κανονικές κατοικίες: Κενή είναι η κατοικία που βρέθηκε χωρίς ενοίκους κατά την ημέρα της απογραφής, επειδή: α) Προοριζόταν για ενοικίαση, β) Προοριζόταν για πώληση, γ) Χρησιμοποιόταν κατά περιόδους ως εξοχική ή δευτερεύουσα κατοικία και δεν διανυκτέρευαν άτομα τη νύχτα του Σαββάτου προς την Κυριακή, 17 προς 18 Μαρτίου 2001, δ) Ήταν κενή για άλλο λόγο, π.χ. μετανάστευσε ή μετοίκησε ο ιδιοκτήτης, ή ήταν στο στάδιο της αποπερατώσεως, ή επισκευαζόταν.

Παράρτημα Β

Χρονοσειρά Βροχόπτωσης

Πιν Β-1 Μία χρονοσειρά βροχόπτωσης (mm/12h) Αγκιστρίου (Πηγή: Σταθμός Αίγινας)

Χειμώνας 606 time steps										Καλοκαίρι 124 t. steps	
ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	27,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	52,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,70	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,30	0,00	0,00	3,20	0,00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	1,30	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	16,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	12,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,50
0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80
0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	7,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	4,20	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	2,40	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	3,20		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00		0,00	4,40		0,00		0,00		0,00	0,00
	0,00		0,00	2,20		0,00		0,00		0,00	0,00
277,70										61,30	
Σύνολο Ύψους Βροχής 339 mm											

Αποτελέσματα Κατανάλωσης Νερού ανά Άτομο, για τα 6 Ομοιώματα, σε 4 Σενάρια

Παρακάτω παρουσιάζονται, με γραφικό τρόπο, τα αποτελέσματα της ατομικής κατανάλωσης νερού της προσομοίωσής μας, ανά χρονικό βήμα (12 h), για τα 6 ομοιώματα, για τα 4 σενάρια που έχουμε θέσει. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση αναλύεται σε πόσιμο νερό (μπλε) και σε πράσινο νερό, ενώ με το χρώμα «γκρι» σημειώνεται η ποσότητα νερού που εισέρχεται στη μονάδα επεξεργασίας, όταν υιοθετείται τοπικό (onsite) σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρι νερού.

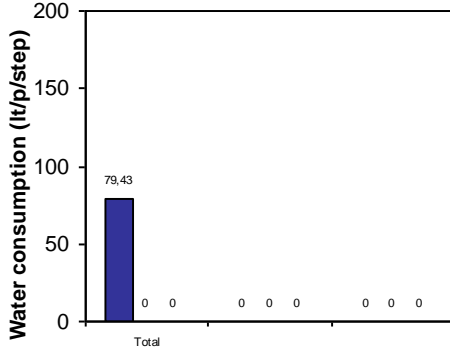
Σε κάθε γράφημα που αναφέρεται στη χειμερινή περίοδο εμφανίζεται η ατομική κατανάλωση νερού για τον κτιριακό τύπο μόνιμης κατοικίας.

Σε κάθε γράφημα που αναφέρεται στη θερινή περίοδο εμφανίζεται η ατομική κατανάλωση νερού για τους κτιριακούς τύπους μόνιμης κατοικίας, παραθεριστικής κατοικίας και των ξενοδοχείων με τη σειρά που αναφέρονται.

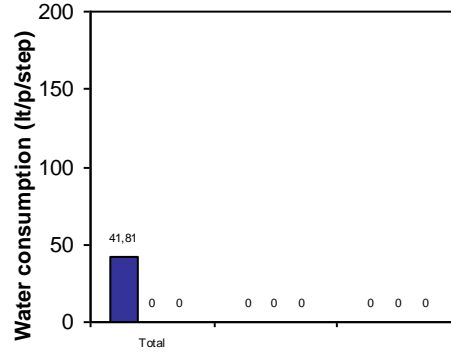
- Potable
- Green
- Grey

Υπόμνημα Β-1

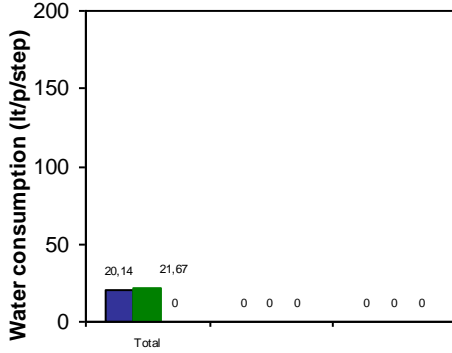
Λιμενάρια Χειμώνας - Σενάριο 0



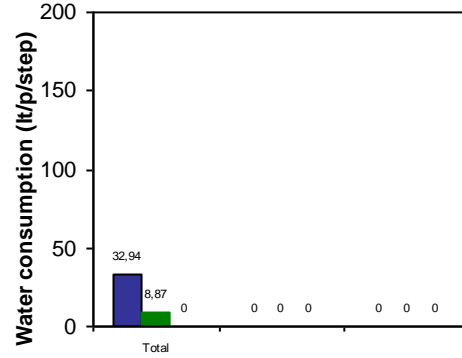
Λιμενάρια Χειμώνας - Σενάριο 1



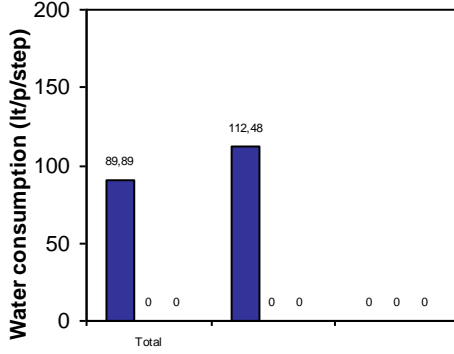
Λιμενάρια Χειμώνας - Σενάριο 2



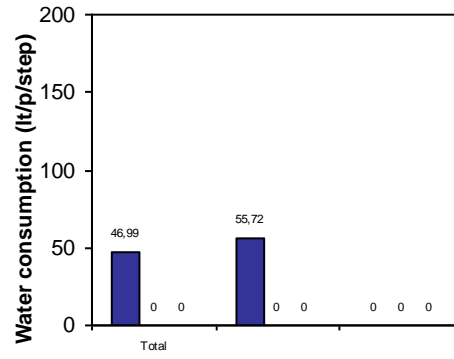
Λιμενάρια Χειμώνας - Σενάριο 3



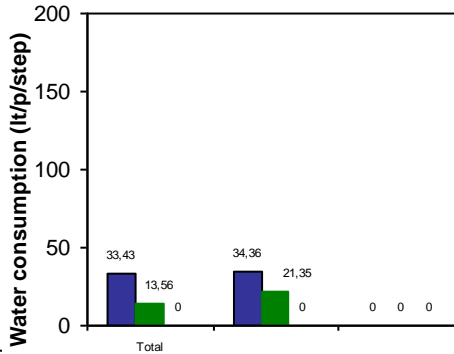
Λιμενάρια Καλοκαίρι - Σενάριο 0



Λιμενάρια Καλοκαίρι - Σενάριο 1



Λιμενάρια Καλοκαίρι - Σενάριο 2



Λιμενάρια Καλοκαίρι - Σενάριο 3

