



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

**ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΕΡΟΥ,
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΙΛΥΟΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ
ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
ΤΟΥ ΦΥΤΩΡΙΟΥ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΘΗΝΑΙΩΝ**

Αγγελική Λιακοπούλου

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

**Δ.Π.Μ.Σ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων : Αν. Καθηγητής Χ. Μακρόπουλοςⁱ

**ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΝΕΡΟΥ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΙΛΥΟΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ
ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΦΥΤΩΡΙΟΥ ΤΟΥ
ΔΗΜΟΥ ΑΘΗΝΑΙΩΝ**

Μεταπτυχιακή Εργασία

Αγγελική Λιακοπούλου

Πολιτικός Μηχανικός Παν. Πατρών

angelaliako@gmail.com

Δ.Π.Μ.Σ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Επιβλέπων : Αν. Καθηγητής Χ. Μακρόπουλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη παράδοση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται ο κύκλος των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο διατμηματικό πρόγραμμα “Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων” του Ε.Μ.Π. Η συνολική εμπειρία του προγράμματος ήταν παραπάνω από θετική, ενώ οι γνώσεις και οι εμπειρίες που αποκόμισα θα με συνοδεύουν σε όλη την επαγγελματική και προσωπική πορεία μου.

Η παρούσα εργασία αποτέλεσε μία εξαιρετική ευκαιρία για τη συλλογή νέων γνώσεων σε θέματα που προηγούμενα δεν είχα ιδιαίτερη εμπειρία. Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π κ. Χ. Μακρόπουλο που ανέλαβε την επίβλεψη του θέματος της εργασίας μου. Η συνεργασία μας ήταν ιδιαίτερα σημαντική για εμένα, ενώ οι γνώσεις που εισέπραξα από αυτόν τόσο στα πλαίσια της εργασίας όσο και των σπουδών μου είναι πολύτιμες.

Για την ολοκλήρωση της εργασίας επιστρατεύτηκε η βοήθεια και οι γνώσεις αρκετών ανθρώπων χωρίς τους οποίους δεν θα ήταν δυνατό να τα καταφέρω. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Διονύση Νικολόπουλο, ο οποίος με καθοδήγησε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας, παρέχοντας συμβουλές αλλά και διορθώσεις όποτε ήταν απαραίτητες.

Εξαιρετικά σημαντική ήταν και η συνεργασία της Διδάκτορος κ. Κλειώς Μονοκρούσου. Εκτιμώ ιδιαίτερα ότι βοήθησε καθοριστικά στην συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και πως μοιράστηκε απλόχερα μαζί μου τις γνώσεις της σχετικά με το project του Φυτωρίου στο οποίο βασίστηκε η συγκεκριμένη εργασία. Η βοήθεια της ήταν ανεκτίμητη και για το λόγο αυτό την ευχαριστώ ιδιαίτερα.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα κ. Γιώργο Καρακατσάνη, οι γνώσεις του οποίου γύρω από τα οικονομικά ήταν απαραίτητες για το τελευταίο κομμάτι της εργασίας. Η συνεργασία μας ήταν εξαιρετική και η βοήθεια του, σχετικά με θέματα στα οποία οι προηγούμενες εμπειρίες μου ήταν περιορισμένες, κρίνεται ανεκτίμητη.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου αλλά και τους καθηγητές του προγράμματος για τις εμπειρίες, τις συζητήσεις, τις γνώσεις που εισέπραξα αυτά τα δύο χρόνια. Η συναναστροφή με άτομα από διαφορετικές σχολές, με διαφορετικές εμπειρίες, σε διαφορετική ηλικία και με πολλές διαφορετικές απόψεις σίγουρα μου έδωσε πολλές φορές την αφορμή να σκεφτώ διαφορετικά και να προβληματιστώ.

Σε αυτό το σημείο θέλω να σταθώ στην παρουσία των φίλων μου οι οποίοι ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα και μου συμπαραστάθηκαν ειδικά σε περιόδους ιδιαίτερα πιεστικές, ενθαρρύνοντας με και προσφέροντας συμβουλές. Τους ευχαριστώ που είναι μαζί μου τόσα χρόνια και ελπίζω να συνεχίσουμε μαζί για πολλά ακόμα.

Τέλος, ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια μου για τη στήριξη της όλα τα χρόνια των σπουδών μου και για τις θυσίες που έχουν κάνει για να μου παρέχουν όλα τα απαραίτητα εφόδια. Ευχαριστώ τον πατέρα μου Γιώργο από τον οποίο έμαθα και αγάπησα το επάγγελμα του Μηχανικού, την μητέρα μου Μένη η οποία με εμπνέει καθημερινά με την επιμονή και την δύναμη της και την αδερφή μου Κατερίνα η οποία είναι δίπλα μου όλη μου τη ζωή. Χωρίς αυτούς δεν θα είχα καταφέρει τίποτα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	IV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VIII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	XI
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	XIV
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	XV
ABSTRACT	XVI
EXTENDED ABSTRACT	XVII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Περιεχόμενο Εργασίας και Ιστορικό	1
1.2 Σκοπός της Εργασίας.....	2
1.3 Διάρθρωση της Εργασίας	2
2. Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	4
2.1 Ιστορικό και Ορισμός	4
2.2 Οι σύγχρονες πιέσεις στο περιβάλλον και του φυσικούς πόρους.....	4
2.3 Η μετάβαση από τη Γραμμική στη Κυκλική Οικονομία	7
2.4 Το νερό στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας.....	10
2.4.1 Γενικά στοιχεία για το Κύκλο του Νερού	10
2.4.2 Μία νέα, “Κυκλική” αντίληψη στη διαχείριση Νερού.....	11
2.5 Επιτυχημένες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης Νερού.....	14
2.5.1 Η περίπτωση του Ισραήλ.....	15
2.5.2 Η περίπτωση της Σιγκαπούρης.....	16
2.5.3 Η περίπτωση του Orange County, Καλιφόρνια, ΗΠΑ	18
2.6 Η περίπτωση της Εξόρυξης Λυμάτων (Sewer Mining).....	20
2.7 Χρήση μοντέλων για την προσομοίωση του κύκλου του νερού	25
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΗ ΡΟΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ UWOT	27
3.1 Περιγραφή Uwoτ και Προηγούμενες Εφαρμογές του	27
3.1.1 Γενικές πληροφορίες	27
3.1.2 Η προσομοίωση των συστημάτων νερού στο UWOT.....	28
3.1.3 Προηγούμενες εφαρμογές του UWOT.....	32
3.2 Η χρήση του UWOT στην παρούσα εργασία.....	39
4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΤΟ ΦΥΤΩΡΙΟ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΘΗΝΑΙΩΝ	40
4.1 Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	40
4.2 Περιγραφή της επέμβασης S. Mining.....	43
5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ UWOT	48

5.1 Συγκέντρωση δεδομένων.....	48
5.2 Επεξεργασία Δεδομένων	49
5.2.1 Οι χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.....	49
5.2.2 Η χρονοσειρά συγκέντρωσης του BOD	51
5.2.3 Η χρονοσειρά ζήτησης αρδευτικού νερού.....	51
5.2.3.1 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπονής.....	51
5.2.3.2 Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό.....	54
5.3 Δημιουργία Μοντέλου.....	56
5.3.1 Προσομοίωση μίας μονάδας Sewer Mining.....	56
5.3.2 Προσομοίωση δύο μονάδων Sewer Mining.....	64
5.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	66
5.4.1 Προσομοίωση μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων.....	66
5.4.2 Προσομοίωση δύο μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων.....	71
5.5 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	75
6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	77
6.1 Οικονομική Θεωρία και αξιολόγηση επενδύσεων	77
6.1.1 Βασικές έννοιες.....	77
6.1.2 Μέθοδοι Αξιολόγησης.....	78
6.1.3 Οικονομίες Κλίμακας και Καμπύλη Εμπειρίας.....	82
6.2 Οικονομική Ανάλυση Επένδυσης Sewer Mining.....	84
6.2.1 Οικονομική Ανάλυση της Μ.Ε.Λ.....	87
6.2.2 Οικονομική Ανάλυση δύο Μ.Ε.Λ.....	91
6.2.3 Οικονομική Ανάλυση εφτά Μ.Ε.Λ.....	94
6.2.4 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 1	98
6.2.5 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 2	100
6.2.6 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 3	103
6.2.7 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 4	106
6.2.8 Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1,2,3 και 4.....	107
6.2.9 Υποσενάρια Οικονομίας Κλίμακας και καμπύλης Εμπειρίας.....	112
6.2.9.1 Αποτελέσματα για Οικονομίες Κλίμακας.....	112
6.2.9.2 Αποτελέσματα για Καμπύλη Εμπειρίας.....	115
7. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	123
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	133

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Ο Κύκλος ζωής ενός δέντρου.....	7
Εικόνα 2.2 Η Γραμμική και Κυκλική Οικονομία.....	8
Εικόνα 2.3 Οι αρχές της Κυκλικής Οικονομίας.....	9
Εικόνα 2.4 Ο φυσικός κύκλος του Νερού σε αντιστοιχία με το μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας για το Νερό.....	14
Εικόνα 2.5 Το σύστημα διαχείρισης του Νερού της Σιγκαπούρης.....	17
Εικόνα 2.6 Η διακύμανση των αποθεμάτων και της ζήτησης νερού στην Καλιφόρνια.....	18
Εικόνα 2.7 Το διάγραμμα λειτουργίας της εγκατάστασης καθαρισμού νερού (AWPF).....	19
Εικόνα 2.8 Η μονάδα Sewer Mining (αριστερά) και η αρδευόμενη περιοχή (δεξιά) στο ΚΕΡΕΦΥΤ	22
Εικόνα 2.9 (a) Η μονάδα MBR και (b) η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης RO.....	23
Εικόνα 3.1 Στιγμιότυπο του περιβάλλοντος εργασίας του UWOT.....	28
Εικόνα 3.2 Στιγμιότυπο (2) του περιβάλλοντος εργασίας του UWOT.....	29
Εικόνα 3.3 Καρτέλα με τα χαρακτηριστικά μεγέθη μίας συσκευής στο UWOT.....	32
Εικόνα 4.1 Η έκταση του Φυτωρίου του Δήμου Αθηναίων.....	40
Εικόνα 4.2 Χρήσεις γης του Μητροπολιτικού Πάρκου στο Γουδή.....	41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Οι συνηθέστερες εφαρμογές στην επαναχρησιμοποίηση νερού και οι περιορισμοί τους	15
Πίνακας 2.2 Εφαρμογές του Sewer Mining στην Αυστραλία.....	21
Πίνακας 2.3 Σύγκριση τιμών παραμέτρων για την εκροή της μονάδας MBR-RO με τα επιτρεπτά όρια	23
Πίνακας 2.4 Προγράμματα Προσομοίωσης του Αστικού Κύκλου του Νερού.....	26
Πίνακας 3.1 Στοιχεία των επεμβάσεων υψηλής και χαμηλής πυκνότητας.....	32
Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις επεμβάσεις υψηλής και χαμηλής πυκνότητας	33
Πίνακας 4.1 Δεδομένα ποσοτήτων και ετήσιων κλαδεμάτων ανά δέντρο στο Φυτόριο.....	42
Πίνακας 4.2 Η απόδοση της πιλοτικής μονάδας MBR – RO.....	46
Πίνακας 4.3 Η απόδοση της πιλοτικής μονάδας MBR – RO (συγκ. σε mg/L, NP σε ng/L, TC, FC, EC σε cfu/100 mL, θολότητα σε NTU).....	47
Πίνακας 5.1 Τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας για τα εισερχόμενα λύματα.....	48
Πίνακας 5.2 Στοιχεία ΕΥΔΑΠ για την περιοχή του Φυτωρίου.....	49
Πίνακας 5.3 Στατιστικά χαρακτηριστικά BOD των εισερχόμενων λυμάτων	51
Πίνακας 5.4 Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές καλλιεργειών (<i>σχέση Blaney – Criddle</i>).....	52
Πίνακας 5.5 Ενδεικτικά αποτελέσματα UWOT για τη μονάδα Sewer Mining.....	69
Πίνακας 5.6 Στατιστικά χαρακτηριστικά συγκέντρωσης του BOD στην εκροή της μονάδας Sewer Mining	69
Πίνακας 5.7 Ενδεικτικά αποτελέσματα 1 ^{ης} προσομοίωσης για τη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα.....	70
Πίνακας 5.8 Ενδεικτικά αποτελέσματα UWOT για τη ταυτόχρονη λειτουργία 2 μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων	73
Πίνακας 5.9 Στατιστικά χαρακτηριστικά συγκέντρωσης του BOD στην εκροή των μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων	73
Πίνακας 5.10 Ενδεικτικά αποτελέσματα 2 ^{ης} προσομοίωσης για τη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα	74
Πίνακας 5.11 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μέγιστη μηνιαία ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ και το ποσοστό κάλυψης των αναγκών σε νερό από τη μονάδα Sewer Mining για κάθε έτος	75
Πίνακας 5.12 Ετήσια προσομοιωμένη ζήτηση νερού της για τα έτη 2006 – 2018.....	76
Πίνακας 6.1 Μοναδιαία κόστη της πιλοτικής Μ.Ε.Λ. του ΚΕΡΕΦΥΤ (σε €/m ³).....	85
Πίνακας 6.2 Κόστη της αντλίας με βάση τη Τεχνολογική Βιβλιοθήκη του UWOT	86

Πίνακας 6.3 Οικονομικά στοιχεία για το κόστος του Νερού για το Φυτόριο σύμφωνα με την ΕΥΔΑΠ	86
Πίνακας 6.4 Δεδομένα για την Παραγόμενη Ιλύ της μονάδας Sewer Mining	87
Πίνακας 6.5 Κόστος της Μ.Ε.Λ.....	87
Πίνακας 6.6 Εξοικονόμηση νερού λόγω της Μ.Ε.Λ.....	87
Πίνακας 6.7 Πίνακας Ταμειακών Ροών της Μ.Ε.Λ.....	89
Πίνακας 6.8 Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (1 μονάδας) για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης	91
Πίνακας 6.9 Κόστος δύο Μ.Ε.Λ.....	91
Πίνακας 6.10 Εξοικονόμηση νερού λόγω 2 Μ.Ε.Λ.....	90
Πίνακας 6.11 Δεδομένα για την Παραγόμενη Ιλύ από δύο Μ.Ε.Λ.....	92
Πίνακας 6.12 Πίνακας Ταμειακών Ροών δύο Μ.Ε.Λ.....	93
Πίνακας 6.13 Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (2 μονάδες) για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης	94
Πίνακας 6.14 Κόστος επτά Μ.Ε.Λ.....	95
Πίνακας 6.15 Εξοικονόμηση νερού λόγω 7 Μ.Ε.Λ.....	95
Πίνακας 6.16 Δεδομένα για την Παραγόμενη Ιλύ των Μ.Ε.Λ.....	95
Πίνακας 6.17 Πίνακας Ταμειακών Ροών επτά Μ.Ε.Λ.....	96
Πίνακας 6.18 Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (7 μονάδες) για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης	97
Πίνακας 6.19 Κόστος κατανάλωσης νερού από την ΕΥΔΑΠ για το σενάριο 1.....	98
Πίνακας 6.20 Πίνακας Ταμειακών Ροών Σεναρίου 1	99
Πίνακας 6.21 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 1)	100
Πίνακας 6.22 Κόστος κατανάλωσης νερού από την ΕΥΔΑΠ για το σενάριο 2.....	101
Πίνακας 6.23 Πίνακας Ταμειακών Ροών Σεναρίου 2	102
Πίνακας 6.24 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 2)	103
Πίνακας 6.25 Δεδομένα για την παραγωγή νερού από το Sewer Mining (Σενάριο 3).....	104
Πίνακας 6.26 Πίνακας Ταμειακών Ροών Σεναρίου 3	105
Πίνακας 6.27 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 3)	106
Πίνακας 6.28 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 4).....	107
Πίνακας 6.29 Συγκριτικά αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας ΚΠΑ σε σχέση με το επιτόκιο προεξόφλησης για τα σενάρια 1,2,3,4.....	109

Πίνακας 6.30 Σύγκριση Οφέλους ΚΠΑ σεναρίων 1,2,3,4 για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης	111
Πίνακας 6.31 Σύγκριση συμμετοχής αρχικού και λειτουργικού κόστους στο συνολικό κόστος για τα σενάρια 1,2,3,4	112
Πίνακας 6.32 Η Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικούς συντελεστές n	114
Πίνακας 6.33 Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης για διαφορετικούς συντελεστές n	115
Πίνακας 6.34 Πίνακας Ταμειακών Ροών μίας Μ.Ε.Λ για καμπύλη εμπειρίας με $b = 3\%$	117
Πίνακας 6.35 Η Καθαρή Παρούσα Αξία μίας Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας	118
Πίνακας 6.36 Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης μίας Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας	118
Πίνακας 6.37 Πίνακας Ταμειακών Ροών δύο Μ.Ε.Λ. για καμπύλη εμπειρίας με $b = 3\%$ και οικονομία κλίμακας με $n = 0,9$	120
Πίνακας 6.38 Η Καθαρή Παρούσα Αξία δύο Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας	121
Πίνακας 6.39 Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης επένδυσης με δύο Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1	Οι παγκόσμιες Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά χρήση πόρου.....	6
Σχήμα 2.2	Στατιστικά και στοιχεία των παγκόσμιων υδροσυστημάτων.....	11
Σχήμα 2.3	Το Γραμμικό Μοντέλο Νερού.....	12
Σχήμα 2.4	Σύγκριση ποσοστού πόσιμου νερού, επαναχρησιμοποιημένου νερού και υφάλμυρου νερού για χρήση στη γεωργία (1995 – 2050).....	16
Σχήμα 3.1	Η προσομοίωση του αστικού κύκλου του νερού μέσω του UWOT.....	27
Σχήμα 3.2	Ένα απλό παράδειγμα προσομοίωσης ενός συστήματος νερού στο UWOT.....	30
Σχήμα 3.3	Το μοντέλο του εξωτερικού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας στο UWOT.....	34
Σχήμα 3.4	Το μοντέλο του εσωτερικού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας στο UWOT.....	35
Σχήμα 3.5	Σύγκριση ιστορικών και προσομοιωμένων χρονοσειρών ζήτησης στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας	36
Σχήμα 3.6	Το μοντέλο του συστήματος νερού της περιοχής μελέτης στο UWOT.....	37
Σχήμα 3.7	Οι διακυμάνσεις θερμότητας πάνω από την περιοχή μελέτης (πάνω διάγραμμα) και η ζήτηση νερού για την άρδευση της περιοχής μελέτης (κάτω διάγραμμα) όπως εκτιμήθηκαν από το UWOT	38
Σχήμα 4.1	Οι βασικοί άξονες για την ανάπτυξη τεχνολογιών της NextGenWater.....	43
Σχήμα 4.2	Η διάταξη της προτεινόμενης επέμβασης στο Φυτώριο Δήμου Αθηναίων.....	44
Σχήμα 4.3	Ο χωροταξικός σχεδιασμός της εγκατάστασης	45
Σχήμα 4.4	Διάγραμμα λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας MBR-RO του ΚΕΡΕΦΥΤ.....	46
Σχήμα 5.1	Η μέση μηνιαία θερμοκρασία (σε °C) για τη περίοδο 2006 – 2018 από το σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.....	50
Σχήμα 5.2	Η μέση μηνιαία βροχόπτωση (σε mm) για τη περίοδο 2006 – 2018 από το σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.....	50
Σχήμα 5.3	Πίνακας υπολογισμού του p για διαφορετικά Γεωγραφικά Πλάτη.....	52
Σχήμα 5.4	Διάγραμμα Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής για Μηδική Καλλιέργεια.....	53
Σχήμα 5.5	Διάγραμμα Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής για Οπωροφόρα Φυτά.....	54
Σχήμα 5.6	Η Ενεργός βροχόπτωση για τα έτη 2006 – 2018.....	55
Σχήμα 5.7	Οι ανάγκες σε νερό (μηδική) για τα έτη 2006 – 2018.....	55
Σχήμα 5.8	Οι ανάγκες σε νερό (οπωροφόρα) για τα έτη 2006 – 2018	56
Σχήμα 5.9	Το στοιχείο Urban WW(EYDAP) που προσομοιώνει τα εισρεόντα λύματα (αριστερά) και τα χαρακτηριστικά του στοιχείου (δεξιά) στο UWOT.....	57
Σχήμα 5.10	Το στοιχείο QUALITY BOD που καθορίζει τη συγκέντρωση (αριστερά) και τα χαρακτηριστικά του στοιχείου (δεξιά) στο UWOT	57

Σχήμα 5.11	Η χρονοσειρά συγκέντρωσης BOD των εισερχόμενων λυμάτων στο UWOT.....	58
Σχημα 5.12	Το στοιχείο Pump 1 στο περιβάλλον του UWOT	58
Σχημα 5.13	Τα χαρακτηριστικά του στοιχείου Pump 1 στο UWOT.....	59
Σχημα 5.14	Το στοιχείο S. Mining στο περιβάλλον του UWOT	59
Σχημα 5.15	Τα χαρακτηριστικά του στοιχείου Sewer Mining στο UWOT.....	60
Σχημα 5.16	Το στοιχείο της εικονικής δεξαμενής TANK στο περιβάλλον του UWOT.....	60
Σχημα 5.17	Τα χαρακτηριστικά της εικονικής δεξαμενής στο UWOT.....	61
Σχημα 5.18	Το στοιχείο ARDEYTIKH ZHTHSH (αριστερά) και τα χαρακτηριστικά του στο UWOT (δεξιά)	61
Σχήμα 5.19	Η χρονοσειρά ζήτησης νερού από το Φυτόριο στο UWOT	62
Σχήμα 5.20	Η διάταξη του UWOT μοντέλου για μία μονάδα Sewer Mining.....	63
Σχημα 5.21	Το στοιχείο Splitter στο περιβάλλον του UWOT.....	64
Σχημα 5.22	Τα χαρακτηριστικά του στοιχείου Splitter.....	64
Σχήμα 5.23	Η διάταξη του UWOT μοντέλου για δύο μονάδες Sewer Mining.....	65
Σχήμα 5.24	Η ποσότητα παραγόμενου νερού από τη μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα.....	66
Σχήμα 5.25	Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD του παραγόμενου νερού της μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L	67
Σχήμα 5.26	Η ποσότητα των επιστρεφόμενων λυμάτων από τη μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα	67
Σχήμα 5.27	Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD των επιστρεφόμενων λυμάτων της μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L.....	68
Σχήμα 5.28	Η προσομοιωμένη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα για την 1 ^η προσομοίωση.....	70
Σχήμα 5.29	Η ποσότητα παραγόμενου νερού από τις μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα.....	71
Σχήμα 5.30	Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD του παραγόμενου νερού των μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L	71
Σχήμα 5.31	Η ποσότητα των επιστρεφόμενων λυμάτων από τις μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα	72
Σχήμα 5.32	Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD των επιστρεφόμενων λυμάτων των μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L	72
Σχήμα 5.33	Η προσομοιωμένη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα για τη 2 ^η προσομοίωση	74
Σχήμα 6.1	Διάγραμμα Οικονομικών Κλίμακας.....	83

Σχήμα 6.2 Συγκριτικό διάγραμμα της ΚΠΑ των σεναρίων 1,2,3,4 για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης	108
Σχήμα 6.3 Συγκριτικά αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας ΚΠΑ σε σχέση με το επιτόκιο προεξόφλησης για τα σενάρια 1,2,3,4	110
Σχήμα 6.4 Σύγκριση Οφέλους ΚΠΑ σεναρίων 1,2,3 και 4 για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης	111
Σχήμα 6.5 Η Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικούς συντελεστές n	114

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

<i>EBA</i>	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης Κεφαλαίου (IRR)
<i>EMAK</i>	Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης
<i>ΕΥΔΑΠ</i>	Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας
<i>ΚΕΡΕΦΥΤ</i>	Κέντρο Ερευνητικών Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας
<i>ΚΠΑ</i>	Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)
<i>ΚΥΑ</i>	Κοινή Υπουργική Απόφαση
<i>Μ.Ε.Α.</i>	Μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων
<i>ΟΡΣΑ</i>	Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου Αθήνας
<i>ΧΥΤΑ</i>	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
<i>BOD</i>	Biological Oxygen Demand (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)
<i>COD</i>	Chemical Oxygen Demand (Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)
<i>EMF</i>	Ellen Macarthur Foundation (Ίδρυμα Ellen Macarthur)
<i>EUWA</i>	European Union Water Alliance
<i>FC</i>	Fecal Coliform (Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια)
<i>FOG</i>	Fat, Oils and Grease
<i>IRP</i>	International Resources Panel
<i>MBR</i>	Membrane Bioreactor (Βιολογικός αντιδραστήρας Μεμβρανών)
<i>PUB</i>	Public Utilities Board (Σιγκαπούρη)
<i>RO</i>	Reverse Osmosis (Αντίστροφη Ωσμωση)
<i>SBR</i>	Sequencing batch reactor (Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων)
<i>TN</i>	<i>Total Nitrogen (Ολικό Άζωτο)</i>
<i>TP</i>	<i>Total Phosphorus (Ολικό Φώσφορο)</i>
<i>TSS</i>	<i>Total Suspended Solids (Ολικά Αιωρούμενα Στερεά)</i>
<i>UV</i>	<i>Ultraviolet (Υπεριώδης Ακτινοβολία)</i>
<i>UWOT</i>	<i>Urban Water Optioneering Tool</i>
<i>VSS</i>	<i>Volatile Suspended Solids (Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά)</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Κλιματική Αλλαγή, σε συνδυασμό με την αυξητική τάση του παγκόσμιου πληθυσμού και τους ταχείς ρυθμούς αστικοποίησης, δημιουργούν έναν ασφυκτικό κλοιό γύρω από το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους. Η ανησυχία σχετικά με τις επιπτώσεις στα φυσικά αποθέματα, έχει οδηγήσει τα Κράτη και τις επιχειρήσεις στην αναζήτηση νέων μεθόδων και αντιλήψεων σχετικά με την εκμετάλλευσή των πόρων. Στα πλαίσια αυτά, η Κυκλική Οικονομία, μολονότι υφίσταται ως έννοια εδώ και δεκαετίες, παρουσιάζει πρόσφατα σημαντική ανάπτυξη. Οι βασικές αρχές της Κυκλικής Οικονομίας, που είναι η μείωση, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των υλικών, εφαρμόζονται πλέον για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που σκοπό έχουν την επανένταξη των πόρων στους βιολογικούς και τεχνολογικούς κύκλους και ως απόρροια τη μείωση των παραγόμενων αποβλήτων.

Μία από τις τεχνολογίες που ικανοποιούν της αρχές της Κυκλικής Οικονομίας είναι η Εξόρυξη Λυμάτων, η οποία αναπτύχθηκε ως μία εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της αυξανόμενης ζήτησης νερού στις αστικές περιοχές, υπό το πρίσμα των πιέσεων που δέχεται ο πόρος οι οποίες είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε μειωμένα μελλοντικά αποθέματα. Η εξόρυξη Λυμάτων, η οποία βασίζεται στην αξιοποίηση των αστικών λυμάτων για την παραγωγή επαναχρησιμοποιούμενου νερού, παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς, λόγω του μικρού μεγέθους της μονάδας λειτουργίας, η χρήση του σε τοπική κλίμακα είναι εφικτή.

Στην Ελλάδα η τεχνολογία έχει δοκιμαστεί με την εγκατάσταση μίας πιλοτικής μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων, στο Κέντρο Ερευνητικών Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας της ΕΥΔΑΠ. Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος NextGenWater, προετοιμάζεται η λειτουργία μίας μονάδας στην έκταση του Φυτωρίου του Δήμου Αθηναίων, σε μία προσπάθεια να μειωθεί το νερό που καταναλώνει η εγκατάσταση για την άρδευση των φυτών. Στην παρούσα εργασία μελετάται η ροή του νερού μέσα στην εγκατάσταση μετά την προτεινόμενη επέμβαση, μέσω της προσομοίωσης του συστήματος χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα UWOT. Η προσομοίωση γίνεται για τις περιπτώσεις που στην εγκατάσταση λειτουργούν μία και δύο μονάδες αντίστοιχα και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με ποσοτικά δεδομένα των υφιστάμενων ροών νερού.

Περαιτέρω διερεύνηση γίνεται σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Αρχικά, πραγματοποιείται η χρηματοοικονομική αξιολόγηση της τεχνολογίας εκτός του πλαισίου της επένδυσης, και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τα οικονομικά οφέλη που παράγονται στις περιπτώσεις μίας, δύο ή επτά μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων σε παράλληλη λειτουργία. Ακολουθεί η οικονομική συγκριτική αξιολόγηση της επένδυσης στο Φυτώριο για τις παραπάνω περιπτώσεις, οι οποίες συγκρίνονται με την υφιστάμενη κατάσταση για την πρόκριση της πλέον ενδεδειγμένης λύσης. Τέλος, γίνεται μία σύντομη μελέτη σχετικά με το πως έννοιες της Μικροοικονομικής θεωρίας επηρεάζουν τα οικονομικά δεδομένα σε ορισμένες από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις.

Τα αποτελέσματα της εργασίας είναι ενθαρρυντικά σχετικά με τις δυνατότητες και τα οφέλη της τεχνολογίας, καθώς και τις προοπτικές που παρουσιάζονται ώστε να αποτελέσει μία σημαντική εναλλακτική στις συμβατικές πηγές νερού εντός του αστικού κύκλου.

ABSTRACT

Climate Change, along with the increasing world population and the rapid urbanization, create a stranglehold on the environment and the natural resources. Growing concern with regards to the Earth's reserves, has led countries and businesses to seek new methods and views on resource usage. In this context, the concept of Circular Economy, although not entirely new, has in recent years gained traction. Circular Economy's main principles, to reduce, reuse and recycle materials, are being implemented in new technologies that aim to reintroduce resources in the biological and technological cycles and therefore reduce waste production.

One of the emerging technologies that adhere to these principles is Sewer Mining, a technology that was developed as an alternative solution to the problem of the growing water demands in urban areas, in light of the pressures imposed on this particular resource which may lead to future water shortages. Sewer Mining, which is based on extracting wastewater from local sewers for reuse applications (after treatment), is an interesting option that lies in the interplay between reuse at a household scale and centralized reuse at a wastewater treatment plant.

This technology has been tested in Greece, with the installation of a pilot Sewer Mining unit in KEREFYT, the Centre for Research Applications in Sanitary Technology, of Athens's Water Supply and Sewerage Company (EYDAP). As part of the EU funded program NextGenWater, a new unit is being prepared for operation in Athens's Plant Nursery located in Goudi, in an effort to reduce the usage of water for the irrigation of the area. This thesis examines the water flow within the proposed installation, by simulating the set-up using the Urban Water Optioneering Tool (UWOT). The simulation is performed for two different set-ups, one with one Sewer Mining Unit and the other with two Sewer Mining units and the results are assessed based on data regarding the existing scheme.

Further research in this thesis is focused on the economic viability of this investment. Firstly, a financial assessment of the technology is performed outside the context of the proposed scheme, so that the results can reflect the individual economic gains in the case of one, two or seven units working in parallel. Next, the financial comparative assessment of the proposed scheme in the Nursery, determines the most promising set-up by analyzing 3 scenarios which feature Sewer Mining technology (with one, two or seven units as explained before) and one scenario which simulates the present set-up in the Nursery. Lastly, there is a brief evaluation on the ways Microeconomics affect the economic data for some of the aforementioned cases.

The results produced in this thesis are promising regarding Sewer Mining's capabilities and benefits, as well as future prospects, so that this technology can provide an attractive alternative to conventional water sources within the urban water cycle.

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

Climate Change, along with the increasing world population and the rapid urbanization, create a stranglehold on the environment and the natural resources. Growing concern with regards to the Earth's reserves, has led countries and businesses to seek new methods and views on resource usage. In this context, the concept of Circular Economy has in recent years gained traction.

One of the emerging technologies that adhere to its principles is Sewer Mining, a technology which is based on extracting wastewater from local sewers for reuse applications (after treatment), is an interesting option that lies in the interplay between reuse at a household scale and centralized reuse at a wastewater treatment plant.

This technology has been tested in Greece, with the installation of a pilot Sewer Mining unit in KEREFYT, the Centre for Research Applications in Sanitary Technology, of Athens's Water Supply and Sewerage Company (EYDAP). As part of the EU funded program NextGenWater, a new unit is being prepared for operation in Athens's Plant Nursery located in Goudi, in an effort to reduce the usage of water for the irrigation of the area. This thesis examines the water flow within the proposed installation, by simulating the set-up using the Urban Water Optioneering Tool (UWOT). The simulation is performed for two different set-ups, one with one Sewer Mining Unit and the other with two Sewer Mining units and the results are assessed based on data regarding the existing scheme.

Further research in this thesis is focused on the economic viability of this investment. Firstly, a financial assessment of the technology is performed outside the context of the proposed scheme, so that the results can reflect the individual economic gains in the case of one, two or seven units working in parallel. Next, the financial comparative assessment of the proposed scheme in the Nursery, determines the most promising set-up by analyzing 3 scenarios which feature Sewer Mining technology (with one, two or seven units as explained before) and one scenario which simulates the present set-up in the Nursery. Lastly, there is a brief evaluation on the ways Microeconomics affect the economic data for some of the aforementioned cases.

The results produced in this thesis are promising regarding Sewer Mining's capabilities and benefits, as well as future prospects, so that this technology can provide an attractive alternative to conventional water sources within the urban water cycle.

2. Circular Economy and Water

Origins and Concept of Circular Economy

The concept of Circular Economy has deep roots and its origins can't be traced back to a specific individual or essay. Simmonds (1862), R.W Hofman (Lancaster, 2002) and K. Boulding (1966) are just some of the people credited with developing the first definition of the concept. More recently, the Ellen Macarthur Foundation (2013) described Circular Economy as "...an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces 'end-of-life' concept with restoration, shifts towards use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems and, within this, business models" (World Economic Forum, 2014).

Although the concept of Circular Economy has existed for years, recent pressures on the environment have led to an increased interest from Countries and businesses, that are searching for alternative solutions so as to reduce their waste and resource usage. Over the past five decades, our global population has doubled, the extraction of materials has tripled and gross domestic product has quadrupled (International Resource Panel. 2019). A scenario developed by the IRP (2019) shows that, unless a fundamental change towards decoupling drives natural resource use away from the status quo, resource use will continue to grow to 190 billion tons, greenhouse gas emissions will increase by 43% and water withdrawals will increase up to 100 % from 2010's levels by 2060. Thus, the transition from the current economic model of a Linear Economy where resource is converted into waste via production, to the Circular Economy model has gained traction towards Sustainability.

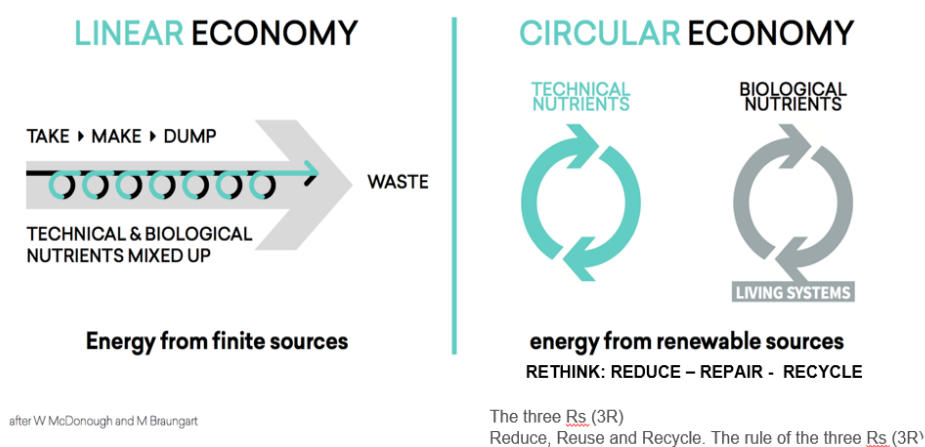


Figure 1 Linear and Circular Economy (www.sustainabilityguide.eu)

The concept of Circular Economy is based around two cycles which represent types of nutrients: the biological cycle and the technical cycle. All products are designed in such a way that once they are no longer used, their nutrients can safely re-enter either the biological or/and the technical cycle (Ellen Macarthur Foundation, 2015). This model represents the “Reduce, Repair, Recycle” approach as opposed to the Linear Economy which promotes the “Take, make, dump” approach in regards to resources.

Water in the context of Circular Economy

Even though the model of Circular Economy can be applied in regards to different resources and products, in this particular essay the focus is being placed on the implementation of the model within the context of the water cycle. Water resources are considered to be under great risk, as it is estimated that by 2030 water shortages can reach 40% of total demand (World Economic Forum, 2014). Water availability is closely linked with water quality since deterioration of the second can prohibit the use of water for certain cases (ex. drinking water). According to Hsu et al. (2016) the greatest cause of poor water quality is the increased outflows of non-treated urban wastewater, agricultural by-products as well as industrial waste.

It is therefore essential to design a new circular water management system that takes under consideration the different elements in the water cycle and maximizes their efficient usage. Some measures that can be implemented, based on the principles of the Circular Economy model are (Water & Circular Economy - NextGen Water, 2019):

- *Avoid water use*: By redesigning products and services and eliminating inefficient practices
- *Reduce water use*: By improving the efficiency of the water systems and the distribution of the resource
- *Reuse*: By keeping water either within one system (closed loop), or redirecting it for use in other systems or communities
- *Recycle*: In external systems, or/and external practices
- *Replenish natural reserves*: By safely and efficiently returning water to the natural basins (rivers, lakes, oceans)

Water reuse in particular is a concept that is gaining traction, and is considered an innovative way to address water scarcity (Angelakis & Gikas, 2014). Within the context of the urban water cycle, water reuse translates mainly into using treated wastewater (a waste) to supply (as a resource) a usually non-potable water use (Makropoulos et al., 2017), such as: irrigation, industrial use, urban use (non-potable), replenishing the aquifers or surface water bodies among others (Angelakis & Gikas, 2014).

Water reuse is being already implemented in several countries. In this essay there is a brief examination of 3 case studies: the case of Israel, the case of Singapore and the case of Orange County, California where centralized water treatment plants were built to reclaim wastewater for reuse.

The Case of Sewer Mining

Water reuse in the aforementioned cases was implemented at the centralized scale. However, recently decentralized technologies have emerged as options, that can be installed in situ, and therefore are closer to the circular economy concept. Sewer Mining is one of the technologies that is gaining momentum, due to its high efficiency treatment and the limited space required for installation (Marleni et al., 2013). Sewer Mining usually involves extracting untreated wastewater from the local sewers, treating them to the point of demand and supplying local non-potable uses (Sydney Water, 2013). This type of technology was pioneered in Australia where there are several cases of successful Sewer Mining Schemes (Makropoulos et al., 2017). In Greece a pilot Sewer Mining Unit was installed in KEREFYT (EYDAP), as part of the EU funded program DESSIN. The unit consists of a Membrane Bioreactor unit (MBR) and a Reverse Osmosis (RO) unit, while its capacity is 10 m³/day. Monitoring of the system was performed to assess its performance and according to the results it is concluded that the effluent presents high quality characteristics that meet the water quality requirements for reclaimed water, as dictated by the Greek legislation (KYA 145116/2011) (Plevri et al., 2017).

Sewer Mining technology, though promising, is still in its beginning stages and as a result there are several challenges and issues that need to be addressed. These challenges consist of engineering challenges such as the efficiency of the technology itself, regulatory challenges such as the different water quality requirements per country or area, financial challenges in finding the appropriate business model regarding Sewer Mining investments and social challenges that deal with the social acceptance of the practice.

The use of urban water simulation models

When designing new integrated water management systems within the Urban Water Cycle (such as Sewer Mining Schemes) in accordance to the principles of Circular Economy, urban water simulation models are a valuable tool. There is a great variety of different models that can be employed depending on the scale of the simulation needed and the available data (Mitchell et al., 2007). In this thesis the simulation of the case study examined is done by using the Urban Water Optioneering Tool (UWOT).

3. Urban Water Optioneering Tool

The UWOT is able to simulate the complete urban water cycle (by modelling individual water uses and technologies for managing them and assessing their combined effects at development scale. It simulates both “standard” urban water flows (potable water, wastewater and runoff), as well as their integration through recycling schemes (Makropoulos, 2014). The model uses an alternative approach for the conceptualization of the water network that is based on the generation, aggregation and transmission of a demand *signal*, starting from the household water appliances and moving towards the source (Rozos & Makropoulos, 2012).

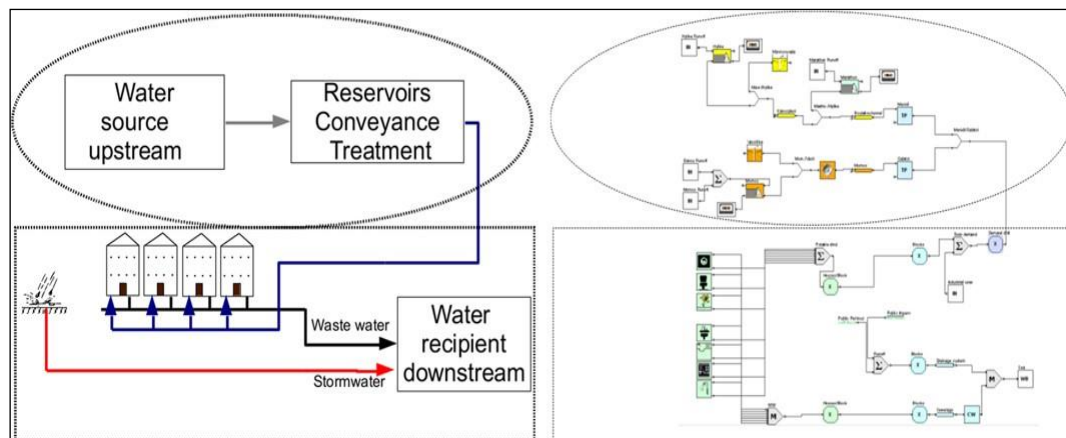


Figure 2 Modelling of the complete urban water cycle with UWOT (Rozos & Makropoulos, 2013)

UWOT components are classified into five categories: Household appliances, Signals, District Network, Hydrosystem and Energy, which can be used to describe any urban water system. The information required by UWOT to simulate the operation of water components (such as water consumption, BOD values, capital and operational cost etc.) is stored in a database which is referred to as “technology library”. This database allows combination of specific technological options to be selected for evaluation by the user (Rozos & Makropoulos, 2013).

UWOT has already been tested in a number of applications to assess its capabilities in modelling diverse cases and problems within the urban water cycle (Rozos & Makropoulos, 2010; Rozos & Makropoulos, 2013; Rozos et al., 2016). The essays conclude that UWOT is a powerful tool to investigate the impact of a different paradigm of more distributed, local water and energy aware management of the complete urban water cycle.

UWOT is used in the context of this thesis to assess the water flows of a proposed Sewer Mining Scheme that is to be installed in Athens’s Plant Nursery in Goudi.

4. Case Study: Athens's Plant Nursery

The Nursery is located in the Goudi region of Athens and is adjacent to Panagiotis Kanellopoulou Avenue (Figure 3). It covers an area of approximately 96 acres, 40 of which are used in the production, development and maintenance of the plants while the rest are used for general purposes such as the administration building and offices.

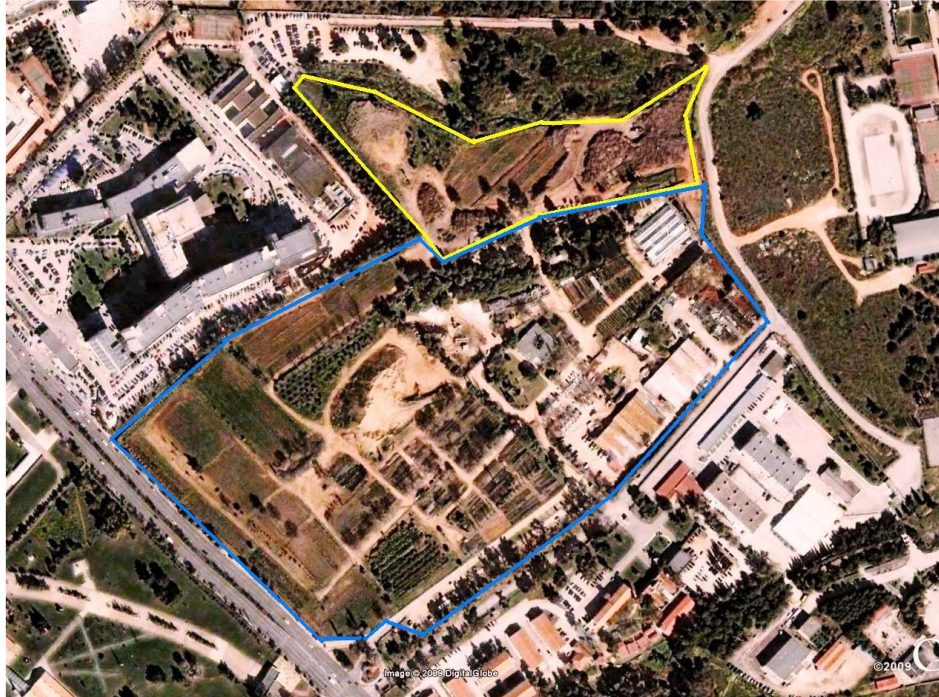


Figure 3 The are of Athens's Plant Nursery in Goudi

The Nursery is responsible, apart from the development of the plants within the site, for the management of the green waste that is produced from the pruning of the city's trees. This constitutes a significant issue for the Nursery, since the large quantities of green waste are at the moment not being utilized rather than disposed in the city's main landfill areas.

Furthermore, the Nursery's water needs for the irrigation of the plants are being currently met by potable water that is supplied through the city's main water system. According to data acquired from the Nursery, peak mean daily consumption (for example in summer) is estimated at 250 m³/day, while the yearly consumption is around 62.250 m³. This results in a significant yearly cost for the supply of the water that reaches 72.750 €/year. To reduce the cost and promote sustainable technologies the Nursery was selected as part of an EU funded program (NextGenWater) for the development and operation of a Sewer Mining scheme that could partially fulfill the Nursery's water needs.

The proposed set-up consists of a Sewer Mining Unit that produces water form treated wastewater extracted from the local sewers, compost form the sludge that is the byproduct of the treatment process and recovers energy with the use of heat pumps for technology processes, heating etc (Figure 4).

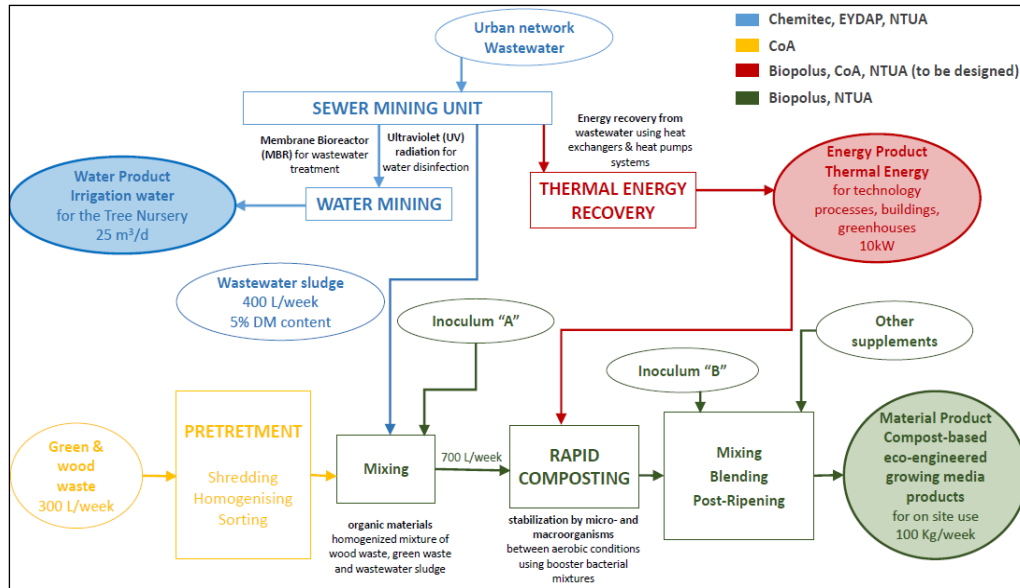


Figure 4 The proposed Sewer Mining set-up in the Plant Nursery (*NextGenWater*)

The unit is similar to the already operational pilot unit at KEREFYIT, and consists of a Membrane Bioreactor (MBR) unit and a Reverse Osmosis (RO) unit. Its capacity is slightly larger at 25 m³/day, and the quality of the effluent is the same as the one in the pilot unit (Figure 5)

Parameters	MBR Effluent	RO Effluent	Legislation Limits
TSS	<DL for 80% of samples	<DL ¹	≤2 for 80% of samples ² ≤10 for 80% for samples ³
BOD₅	0.9 (average)	≤1 for 80% of samples	≤10 for 80% of samples ^{2,3}
COD	23 ± 9.5 ⁴	<10 (average)	
COD₅	29 ± 10 ⁴	<10 (average)	
TN	-	12 (average)	≤15 ^{2,3}
NH₄-N	0.25 ± 0.32 ⁴	-	≤2 ^{2,3}
TP	5.9 ± 1 ⁴	<0.5	
Turbidity	0.04 (median)	-	≤2 (median) ^{2,3}
TC	307 ± 309 ⁴ 578 for 80% of samples 1,115 for 95 % of samples	MA ⁵	≤2 for 80% of samples ² ≤20 for 95% of samples ²
FC	1 ± 1.8 ⁴	MA ⁵	-
E.Coli	0.8 ± 1 ⁴ ≤2 for 80% & 95% of samples	MA ⁵	≤5 για 80% of samples ³ ≤50 for 95% of samples

¹Detection limit

² The limit values set in the Greek Legislation regarding urban reuse

³ The limit values in the Greek legislation regarding wastewater reuse for unrestricted irrigation or/and industrial reuse

⁴ Average ± St. Deviation

⁵ Not Detected

5. UWOT Simulation

Data Initially Available and processing

Sample testing was performed during the period of August – October 2018 for the assessment of the inflow’s quality (Figure 5). Additionally, data concerning the wastewater supply as well as the mean daily and yearly water consumption in the Nursery were provided by EYDAP. Finally, monthly timeseries for rainfall and mean temperature for the 2006-2018 period were acquired through the meteorological station in NTUA’s campus in Zografou, Greece (www.hoa.ntua.gr) (Figure 6).

The timeseries were processed so as to fill any missing monthly values using the rest of the values of the same month to estimate an appropriate value. Using the data from the samples it was possible to estimate the mean value and the standard deviation of the inflow quality which was later used as an input for the simulation.

Parameters ¹	Date of sample-testing						
	1/8/2018	2/8/2018	5/9/2018	12/9/2018	19/9/2018	26/9/2018	17/10/2018
TSS	218	148	192	265	370	288	
VSS	190	134	130	142	210	150	
TN	104	124	109	109	104	115	150
NH ₄ -N			89	90	84	95	
NO ₃ -N	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7
NO ₂ -N	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²
TP	10.9	9.6	12.8	12.3	12.6	13.5	
COD	488	337	538	589	675	561	
COD ₅	135	128	135	140	135	102	
BOD	212	142	234	246	290	267	383
SO ₄			8	37	10	22	
pH			6.8	7.9	7.6	7.7	
FOG			55	55	54	55	59

Figure 5 Results from the sample-testing of the wastewater inflow

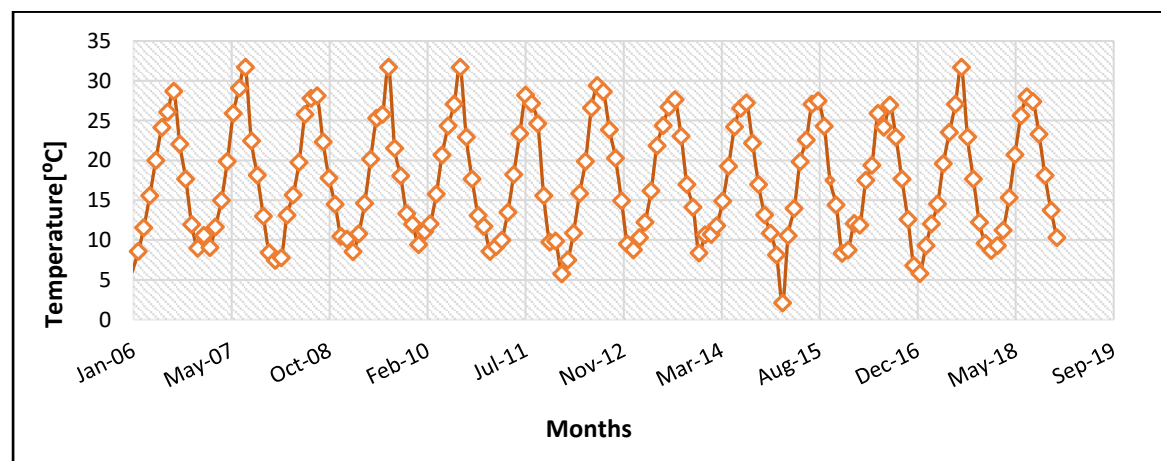


Figure 6 Mean monthly temperature (2006 – 2018) from the NTUA meteorological station

¹ All parameters in mg/L apart from pH.

² Not detected

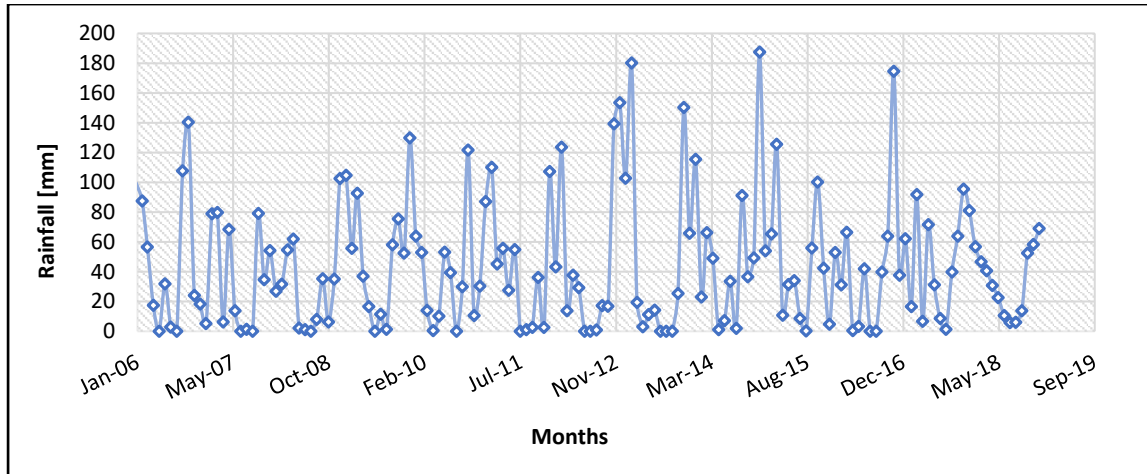


Figure 7 Monthly Rainfall (2006 – 2018) from the NTUA meteorological station

An important parameter was the estimation of the water demands that would be used as an input in UWOT. For that purpose, it was first necessary to calculate the evapotranspiration using the Blaney-Criddle method, the time series for the rainfall and the temperature and taking into account two different scenarios regarding the types of plant in the Nursery: clover and fruit bearing trees. With the above data the water needs were estimated for the period 2006-2018 and the timeseries that was selected was the one referring to the fruit bearing trees as the results were closer to the data provided by the Nursery in regards to their water usage (Figure 8).

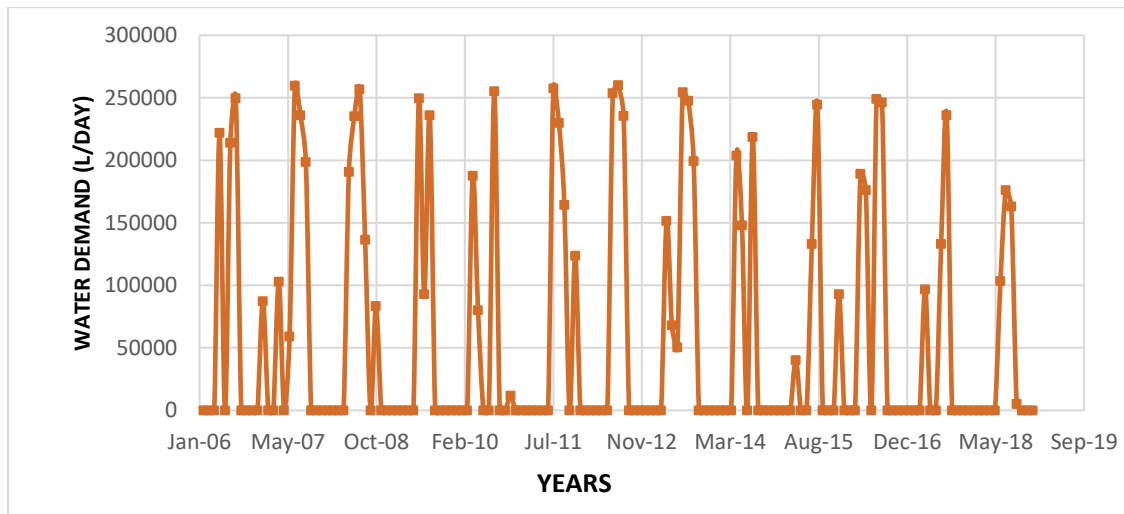


Figure 8 The Nursery's estimated water needs for the 2006-2018 period

Simulating the proposed scheme in UWOT

The UWOT was used to simulate two different set-ups: the first consists of a single Sewer Mining unit (Figure 9) and the second consists of two Sewer Mining units working in parallel (Figure 10).

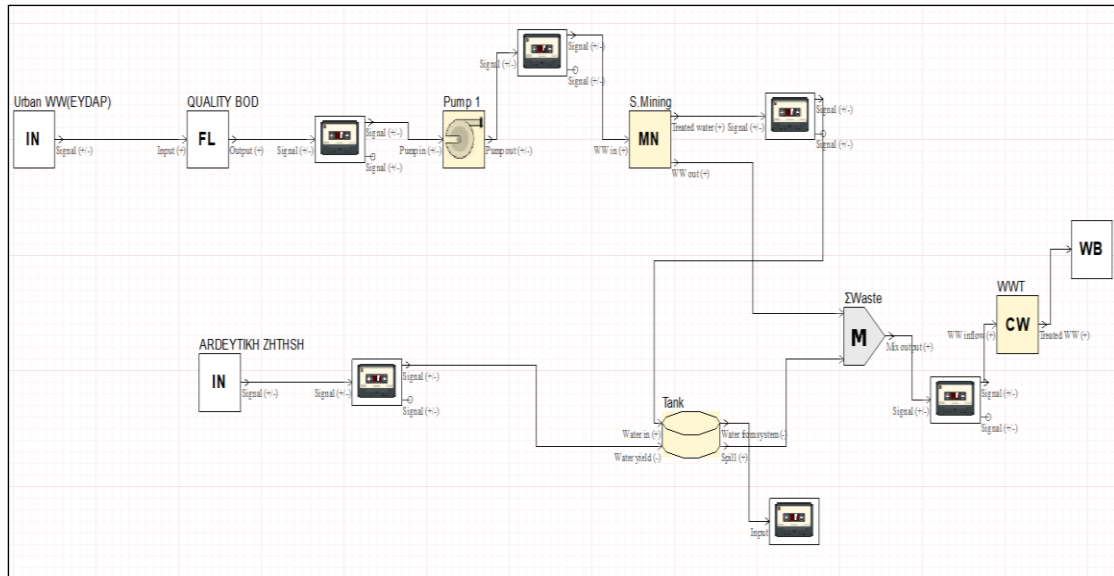


Figure 9 The set-up consisting of a single Sewer Mining unit in UWOT

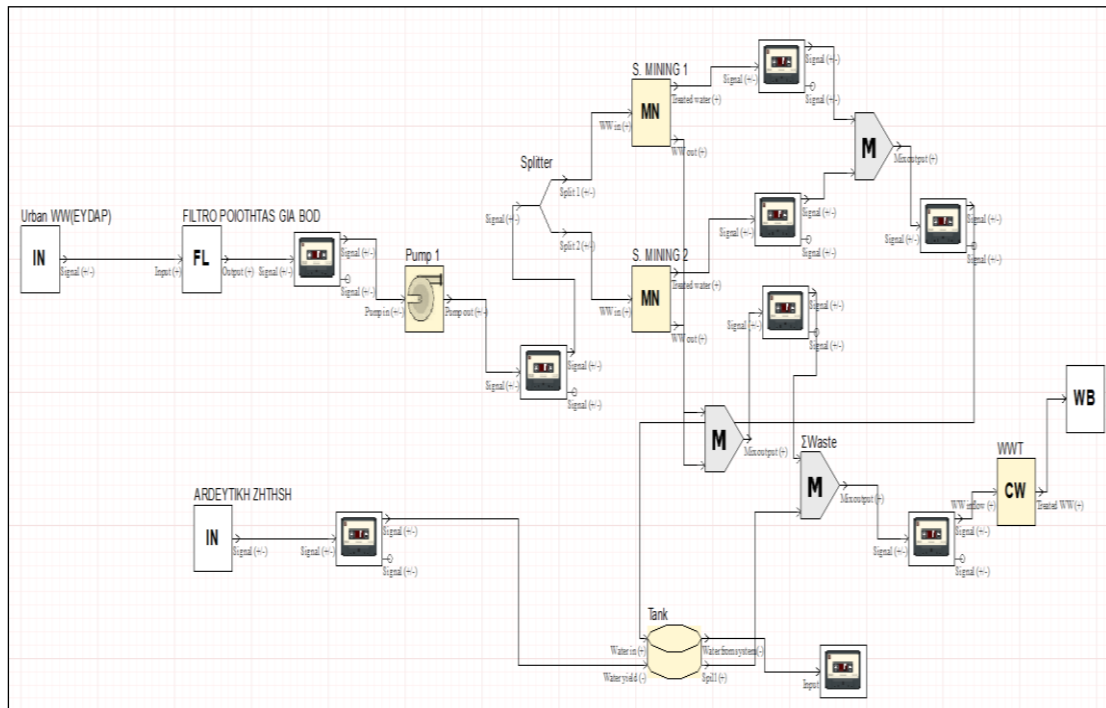


Figure 10 The set-up consisting of two Sewer Mining units in UWOT

Simulation Results

The simulation was performed using a monthly time step from 1/1/2006 to 1/12/2008. UWOT calculated the quantity and the quality (BOD concentration) of the water flows within the water system and produced the following figures. The water flows simulated include the flow of wastewater, the reclaimed water, the water from system and the returning flow from the Sewer Mining unit back to the sewers.

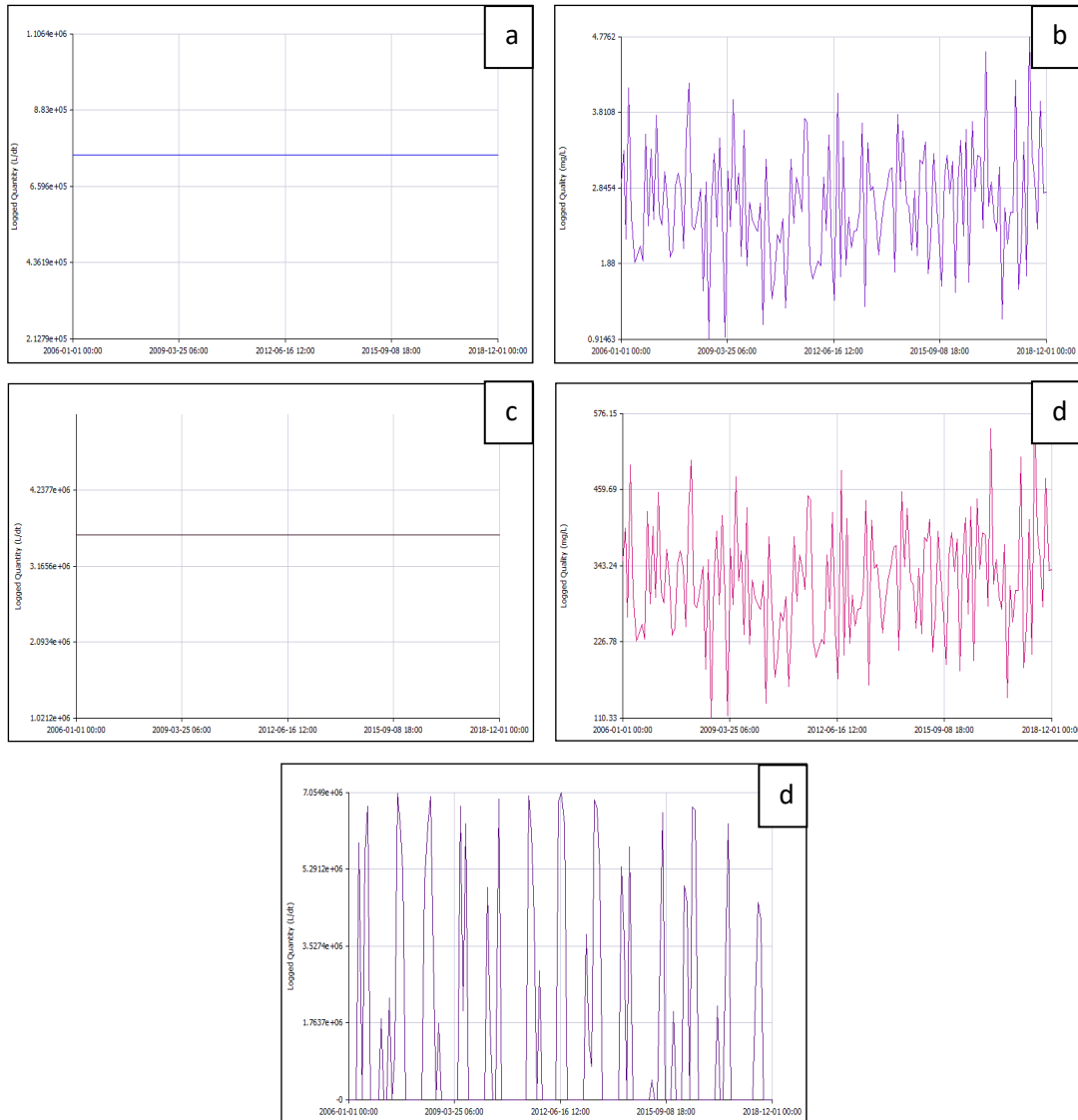


Figure 11 Simulation Results for set-up with 1 Sewer Mining unit a) reclaimed water (L/month, b) BOD concentration in reclaimed water (mg/L), c) returning flow to the sewers (L/month), d) BOD concentration in returning flow (mg/L), e) simulated water demand from system (L/month)

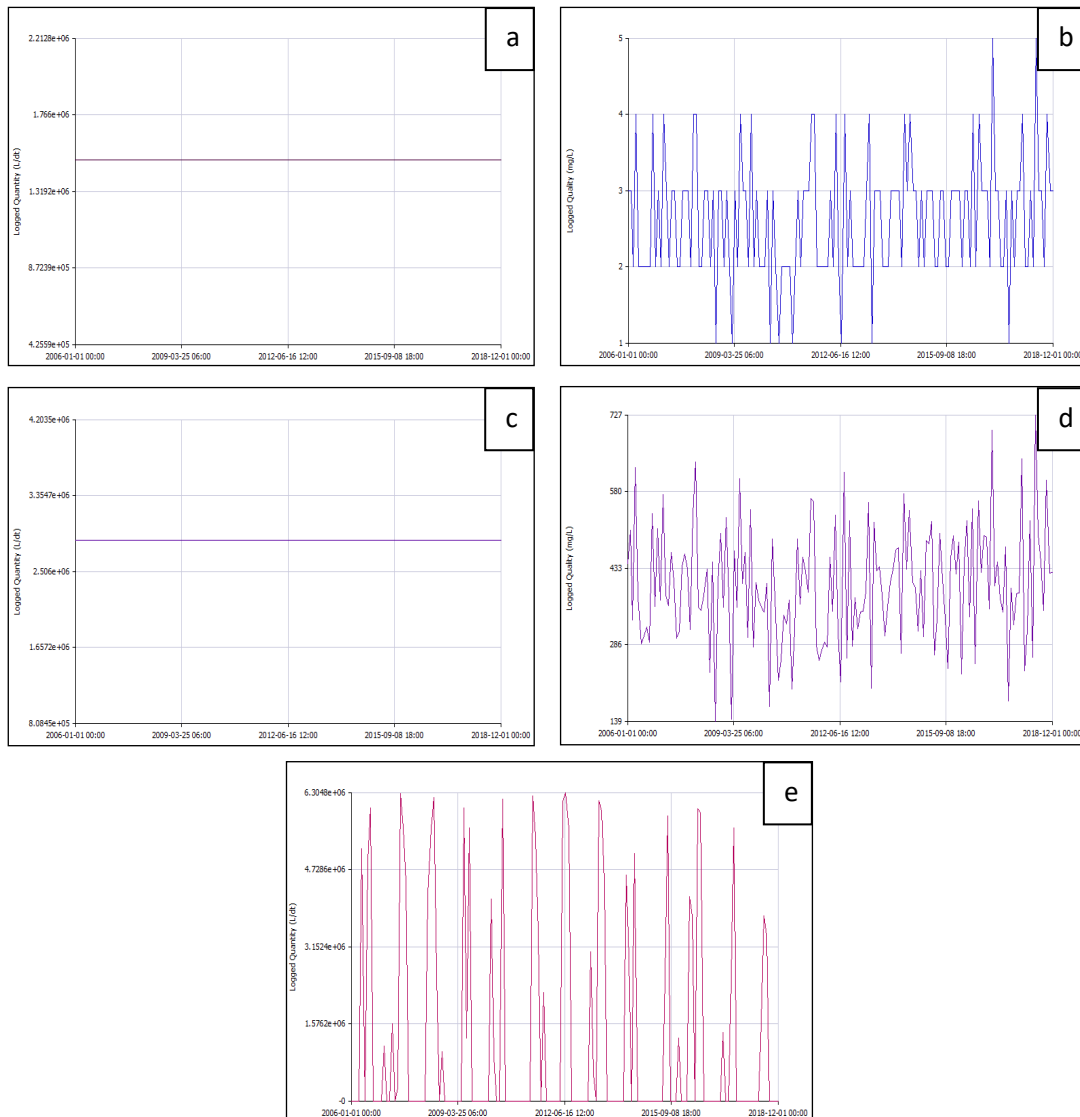


Figure 12 Simulation Results for set-up with 2 Sewer Mining units a) reclaimed water (L/month), b) BOD concentration in reclaimed water (mg/L), c) returning flow to the sewers (L/month), d) BOD concentration in returning flow (mg/L), e) simulated water demand from system (L/month)

The simulated results indicate that in the summer months the water demand is at its peak as in both cases the biggest value calculated for water demand from the system occurs in July. This is perfectly reasonable if the fact that in summer, temperatures are higher and rainfall is rarer, is taken into consideration. As for the quality of the reclaimed water, in both setups the BOD concentrations calculated are well below the limit values of 10mg/L imposed by the Greek legislation (Table1).

Table 1 Statistical values of the BOD concentration in the reclaimed water

	1 Unit	2 Units
Average (mg/L)	2.63	3.00
St. Deviation (mg/L)	0.73	0.81
Max (mg/L)	4.78	5.00
Min (mg/L)	0.91	1.00

The evaluation of the results is not particularly easy due to lack of comparable data. For this reason, broad data provided by the Nursery are used to estimate the quality of the results. The Nursery claims that mean daily consumption during peak season is 250 m³/day and as a result the reclaimed water (25m³/day) can meet about 10% of those needs. Unfortunately, it provides no data for monthly consumption and as a result the monthly demand fluctuation is unknown. With the assumption that 250 m³/day is the daily consumption, the monthly consumption is estimated at 7.500 m³/day. We compare this figure with the maximum monthly water demands that are estimated in UWOT (Table 2).

Table 2 Simulation results dor maximum monthly water demand, monthly Sewer Mining water produced and % of water need met with reclaimed water

Year	Maximum monthly water demand from system (m ³ /month)	Monthly Sewer Mining water (m ³ /month)	Percent of need met with Reclaimed water
2006	6734,36	750	8,98
2007	7033,24	750	9,38
2008	6951,73	750	9,27
2009	6726,67	750	8,97
2010	6898,29	750	9,20
2011	6965,93	750	9,29
2012	7054,90	750	9,41
2013	6882,32	750	9,18
2014	5800,00	750	7,73
2015	6580,44	750	8,77
2016	6709,93	750	8,95
2017	6329,62	750	8,44
2018	4529,10	750	6,04

It is easy to observe that the results of the simulation are comparable with the provided data, as far as peak water demand is concerned, however there is a significant distance in regards to the results of the total yearly water demand. The Simulation estimated that yearly water demand ranges from 13.414,19 to 28.292,23 m³/year while the data from the Nursery calculated yearly water demand at 62.250 m³/year. This deviation could be due to the assumptions made regarding the types of plant as well as the method used for calculating evapotranspiration. Safer conclusions may be drawn once the unit is operational and the data provided are more accurate.

6. Economic Analysis and investment assessment

The last part of this thesis consists of an economic evaluation of the technology and the proposed Nursery scheme. The evaluation is based on the mainly on Net Present Value criterion as well as the Internal Rate of Return criterion in some cases.

In the first part, the evaluation refers solely to the Sewer Mining technology and 3 cases are evaluated: 1 unit, 2 units and 7 units. The unit cost of each component was estimated through previous works (Plevri et al., 2017; IPP Consult, 2002; EC, 2000) and data from the technology library of UWOT. For each of the 3 cases, the time period considered is 15 years. Based on the data the Cash Flow Table is constructed and therefore the NPV & IRR are calculated through a spreadsheet in Excel. The results are in Table 3.

Table 3 Net Present Value for the case with 1, 2 or 7 Sewer Mining units, for different discount rates

NPV 1 unit (€)	NPV 2units (€)	NPV 3 units (€)	Discount Rate (%)
15,115.36 €	38,051.65 €	152,733.08 €	3.5%
14,634.25 €	37,059.67 €	149,186.77 €	3.6%
14,158.15 €	36,078.02 €	145,677.40 €	3.7%
13,687.00 €	35,106.58 €	142,204.52 €	3.8%
13,220.73 €	34,145.22 €	138,767.65 €	3.9%
12,759.30 €	33,193.81 €	135,366.35 €	4.0%
12,302.62 €	32,252.22 €	132,000.18 €	4.1%
11,850.66 €	31,320.33 €	128,668.69 €	4.2%
11,403.33 €	30,398.02 €	125,371.44 €	4.3%
10,960.60 €	29,485.17 €	122,108.02 €	4.4%
10,522.40 €	28,581.67 €	118,878.00 €	4.5%
10,088.67 €	27,687.39 €	115,680.97 €	4.6%
9,659.37 €	26,802.22 €	112,516.51 €	4.7%
9,234.42 €	25,926.06 €	109,384.22 €	4.8%
8,813.79 €	25,058.78 €	106,283.71 €	4.9%
8,397.42 €	24,200.28 €	103,214.58 €	5.0%

Additionally, for the 1st case, IRR = 7,26%, for the 2nd case, IRR = 8,33% and for the 3rd case, IRR = 9,11%. According to these results all three cases are viable with the 3rd case being the most profitable of all three in both criteria.

In the second part, the evaluation refers to the complete proposed investment in the Plant Nursery and 4 scenarios are evaluated: investment of 1 unit, investment of 2 units, investment of 7 units and no Sewer Mining investment (current situation). In this case apart from the costs assessed in the first part, the cost for water consumption from the main water system is also taken into consideration. The results are presented in Table 4.

Table 4 Net Present Value for scenarios 1,2,3 and 4 for different discount rates

NPV 1 unit (€)	NPV 2units (€)	NPV 3 units (€)	NPV No units (€)	Discount Rate (%)
-822,915.57 €	-800,118.57 €	-686,108.75 €	-837,891.64 €	3.5%
-817,467.94 €	-795,180.82 €	-683,720.58 €	-831,963.89 €	3.6%
-812,077.06 €	-790,294.51 €	-681,357.29 €	-826,097.89 €	3.7%
-806,742.22 €	-785,459.00 €	-679,018.57 €	-820,292.86 €	3.8%
-801,462.72 €	-780,673.63 €	-676,704.11 €	-814,548.05 €	3.9%
-796,237.85 €	-775,937.80 €	-674,413.60 €	-808,862.69 €	4.0%
-791,066.93 €	-771,250.86 €	-672,146.74 €	-803,236.03 €	4.1%
-785,949.29 €	-766,612.22 €	-669,903.24 €	-797,667.35 €	4.2%
-780,884.26 €	-762,021.26 €	-667,682.80 €	-792,155.92 €	4.3%
-775,871.19 €	-757,477.40 €	-665,485.13 €	-786,701.02 €	4.4%
-770,909.43 €	-752,980.04 €	-663,309.96 €	-781,301.95 €	4.5%
-765,998.34 €	-748,528.61 €	-661,157.01 €	-775,958.02 €	4.6%
-761,137.29 €	-744,122.54 €	-659,025.99 €	-770,668.54 €	4.7%
-756,325.66 €	-739,761.26 €	-656,916.64 €	-765,432.84 €	4.8%
-751,562.84 €	-735,444.23 €	-654,828.68 €	-760,250.25 €	4.9%
-746,848.23 €	-731,170.89 €	-652,761.86 €	-755,120.12 €	5.0%

Because of the considerable cost of potable water consumption, all scenarios have negative NPVs (they don't produce gains in the time period examined). Nevertheless, it is obvious that scenarios 1,2 and 3 the cost is considerably lower than in scenario 4. Diagrams comparing the 4 scenarios are presented below.

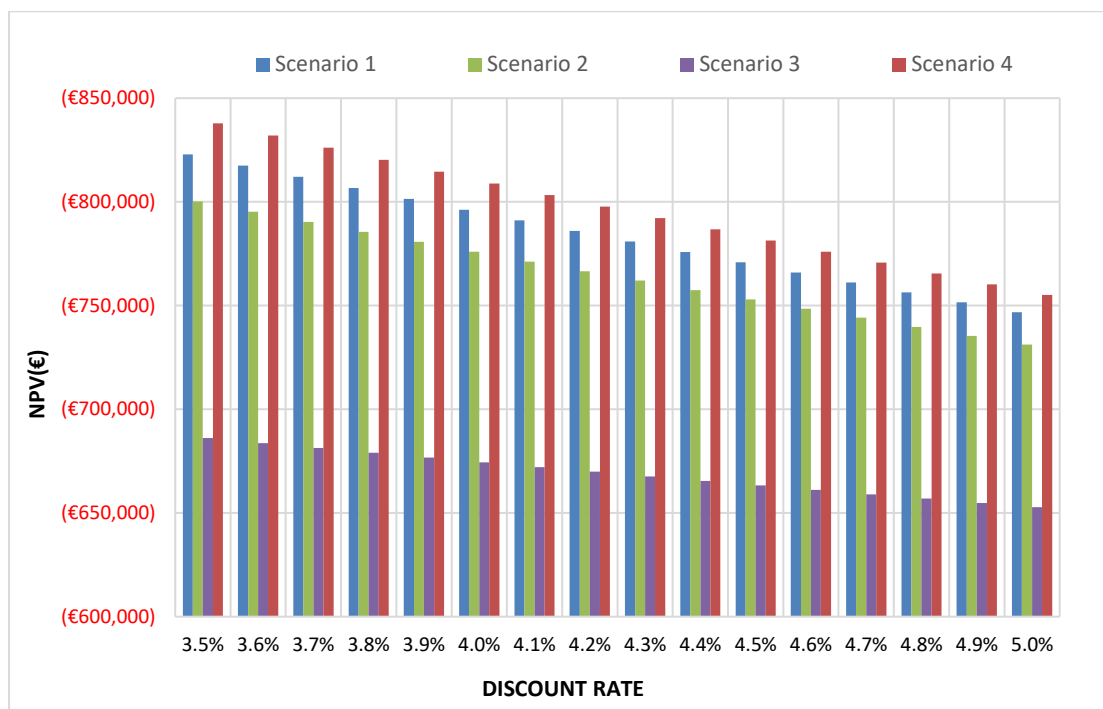


Figure 13 NPV for scenarios 1,2,3 and 4 for different discount rates

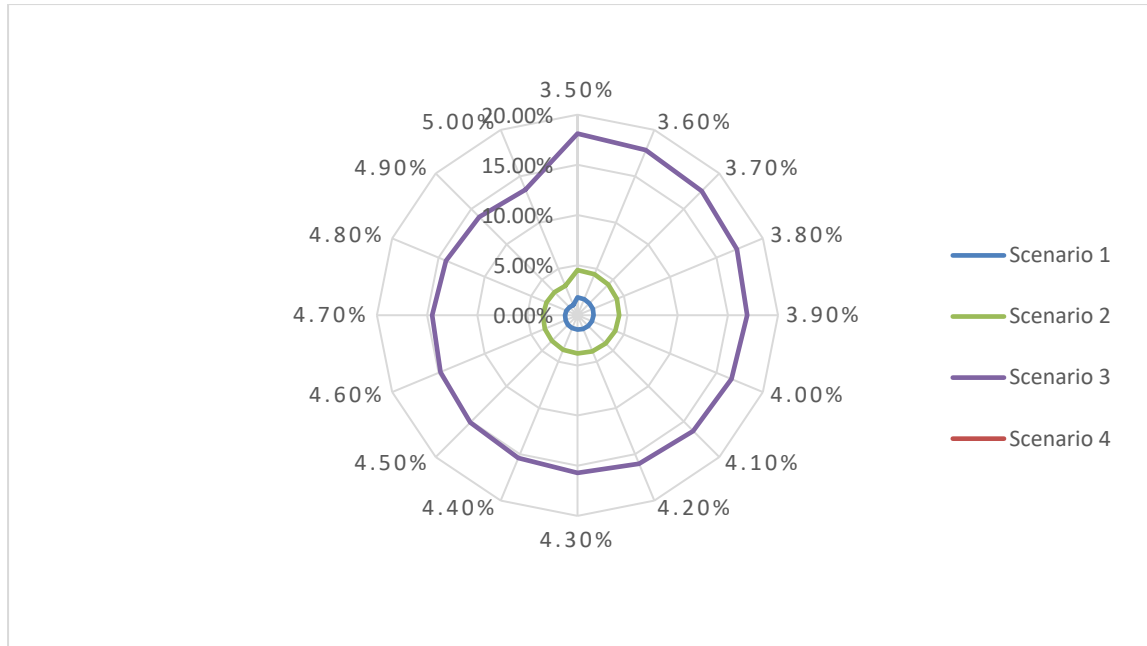


Figure 14 Benefit Comparison for scenarios 1,2,3 in comparison to 4 (current situation)

In the last part, an investigation of the ways economies of scale and learning curves affect the results is presented. The case considered here are those of: 1 unit and 2 units, for simplification purposes. The results produced, show that implementing these concepts in the economic evaluation can drastically improve the estimated gains for this technology (Figure 14; Table 5 & 6).

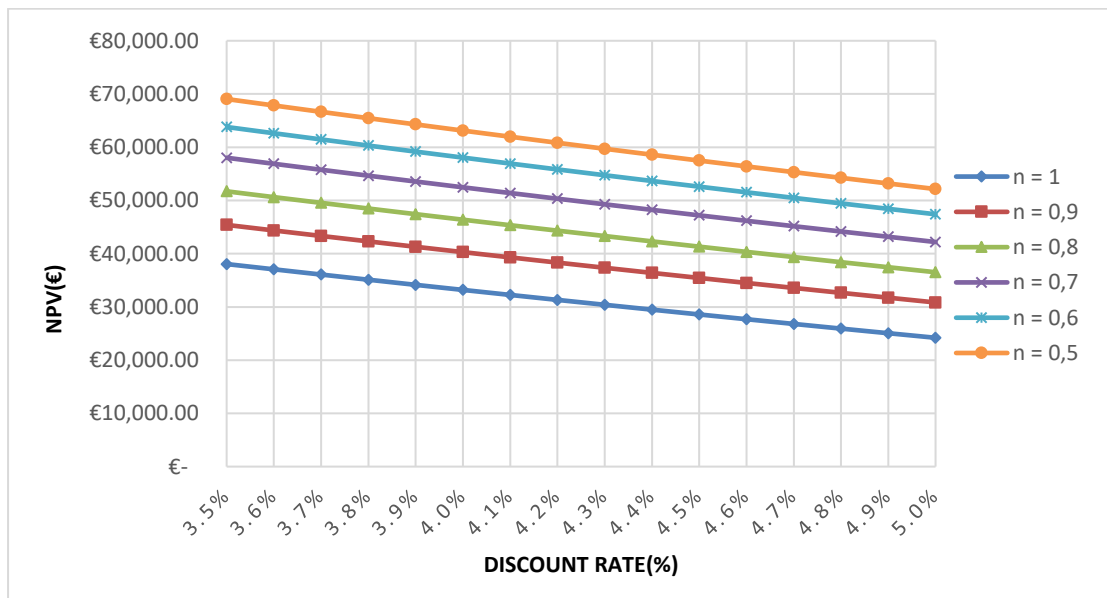


Figure 15 NPV for the case of 2 units for different values of coefficient n (Economies of scale)

Table 5 Net Present Value for 1 unit (NPV 1 = no learning curve, NPV 3 = with learning curve) for different discount rates

NPV 1	NPV 2	% of NPV increase	Discount Rate
15,115.36 €	24,564.36 €	62.5%	3.5%
14,634.25 €	23,999.95 €	64.0%	3.6%
14,158.15 €	23,441.48 €	65.6%	3.7%
13,687.00 €	22,888.89 €	67.2%	3.8%
13,220.73 €	22,342.09 €	69.0%	3.9%
12,759.30 €	21,801.02 €	70.9%	4.0%
12,302.62 €	21,265.61 €	72.9%	4.1%
11,850.66 €	20,735.78 €	75.0%	4.2%
11,403.33 €	20,211.46 €	77.2%	4.3%
10,960.60 €	19,692.58 €	79.7%	4.4%
10,522.40 €	19,179.08 €	82.3%	4.5%
10,088.67 €	18,670.89 €	85.1%	4.6%
9,659.37 €	18,167.94 €	88.1%	4.7%
9,234.42 €	17,670.16 €	91.4%	4.8%
8,813.79 €	17,177.50 €	94.9%	4.9%
8,397.42 €	16,689.88 €	98.8%	5.0%

Table 6 Net Present Value for 2 units (NPV 1 = no learning curve & no economies of scale, NPV 2 = with learning curve and economies of scale) for different discount rates

NPV 1	NPV 2	% of NPV increase	Discount Rate
38,051.65 €	63,931.53 €	68.0%	3.5%
37,059.67 €	62,724.19 €	69.3%	3.6%
36,078.02 €	61,529.56 €	70.5%	3.7%
35,106.58 €	60,347.49 €	71.9%	3.8%
34,145.22 €	59,177.80 €	73.3%	3.9%
33,193.81 €	58,020.36 €	74.8%	4.0%
32,252.22 €	56,874.99 €	76.3%	4.1%
31,320.33 €	55,741.56 €	78.0%	4.2%
30,398.02 €	54,619.91 €	79.7%	4.3%
29,485.17 €	53,509.89 €	81.5%	4.4%
28,581.67 €	52,411.36 €	83.4%	4.5%
27,687.39 €	51,324.17 €	85.4%	4.6%
26,802.22 €	50,248.18 €	87.5%	4.7%
25,926.06 €	49,183.26 €	89.7%	4.8%
25,058.78 €	48,129.26 €	92.1%	4.9%
24,200.28 €	47,086.05 €	94.6%	5.0%

7. Conclusion

In general, this thesis's goal was twofold. First, to assess UWOT's capabilities in simulating a water recycling scheme in the intermediate scale, and second to perform an economic evaluation for the proposed technology and the investment. Results show that UWOT is indeed able to simulate the water flows in a case such as this with satisfactory precision. Some deviations are explained by the assumptions made in the context of this study due to insufficient data.

The economic evaluation results show that Sewer Mining technology in general is a viable and profitable scheme and can be an interesting alternative water source to more conventional options (such as potable water from central system). The Nursery's Sewer Mining investment may not be able to provide gains in the long run, however the cost minimizing in comparison to the current situation is significant, therefore this investment is a good solution. A more complete cost-benefit analysis that takes into consideration both the environment, social and economic costs-benefits, is expected to make the Sewer Mining technology significantly more attractive, while a large part of its cost reduction depends on 'learning curve' and 'economies of scale' attributes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Περιεχόμενο Εργασίας και Ιστορικό

Το νερό είναι ένας υπερπολύτιμος πόρος, απαραίτητος για την ανάπτυξη ζωής και την πλειονότητα των οικονομικών δραστηριοτήτων· είναι όμως πεπερασμένος, παρουσιάζει σημαντική διακύμανση στο χώρο και το χρόνο και είναι ευάλωτος λόγω της ακατάπαυστης εκμετάλλευσής του. Η κλιματική αλλαγή, ο συνεχώς αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός, η οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη ασκούν επιπλέον πιέσεις, με αποτέλεσμα πάνω από 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι να ζουν σε περιοχές που παρατηρείται έλλειμμα νερού (high water stress), ενώ πάνω από 4 δισεκατομμύρια αντιμετωπίζουν σοβαρά φαινόμενα έλλειψης νερού τουλάχιστον 1 μήνα του έτους σύμφωνα με την έκθεση των Ηνωμένων Εθνών (UN, 2019). Η ευρεία αναγνώριση και αποδοχή των επιπτώσεων που έχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες στα οικοσυστήματα και τους φυσικούς πόρους έχουν αλλάξει τον τρόπο διαχείρισης και αξιοποίησής τους.

Λόγω των προαναφερθέντων αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες που έχουν σκοπό την αξιοποίηση πόρων που μέχρι τώρα θεωρούνταν άχρηστοι, στα πλαίσια της κυκλικής διαχείρισης των υλικών (Κυκλική Οικονομία). Μία από λύσεις που έχουν προταθεί ως βιώσιμες σχετικά με την διατήρηση και προστασία των υδάτινων αποθεμάτων είναι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων των πόλεων για την παραγωγή νερού, ενέργειας και υλικών. Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων εφαρμόζεται εδώ και αρκετές δεκαετίες με τις πρώτες αναφορές να γίνονται στην Αμερική, όπου με την εμφάνιση των συστημάτων αποχέτευσης τον 19^ο αιώνα, τα οικιακά υγρά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν σε *φάρμες αποβλήτων* (Metcalf & Eddy, 2003) οι οποίες στη συνέχεια επεκτάθηκαν και στην Ευρώπη.

Προσφάτως, νέες αποκεντρωμένες τεχνολογίες αξιοποίησης λυμάτων όπως η Εξόρυξη Λυμάτων (Sewer Mining), έχουν αρχίσει σταδιακά να προτιμώνται όλο και περισσότερο (Plevri et al., 2017). Για αυτό το λόγο, η παρούσα εργασία μελετά την περίπτωση του Φυτωρίου του Δήμου Αθηναίων, το οποίο στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος NextGenWater, επιθυμεί την εγκατάσταση μονάδας τεχνολογίας Εξόρυξης Λυμάτων στην έκταση του Φυτωρίου για τη μερική άρδευση των αναπτυσσόμενων φυτών. Το Φυτόριο επιδιώκει με αυτό τον τρόπο την απεξάρτηση του από το δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ, το οποίο αυτή τη στιγμή προμηθεύει το 100% του νερού στην εγκατάσταση.

Πιο αναλυτικά, προβλέπεται η εγκατάσταση μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων η οποία θα παράγει νερό από τα επεξεργασμένα λύματα, με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας από τη θερμότητα των λυμάτων μέσω εναλλακτήρων και παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ για χρήση ως εδαφοβελτιωτικό εντός του Φυτωρίου.

Με χρήση του προγράμματος UWOT προσομοιώθηκε η ροή του νερού στην εγκατάσταση μετά την προτεινόμενη επέμβαση και τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με βάση δεδομένα του Φυτωρίου και της ΕΥΔΑΠ. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της ροής στην περίπτωση εγκατάστασης δύο μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων, και έγινε σύγκριση των δύο σεναρίων.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία προκαταρκτική οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης και σύγκριση της με την υφιστάμενη κατάσταση μέσα από 4 διαφορετικά σενάρια, ενώ στο τέλος

η ανάλυση επεκτάθηκε με την διερεύνηση υποσεναρίων που βασίζονται σε έννοιες της Μικροοικονομίας.

1.2 Σκοπός της Εργασίας

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι διττός. Καταρχάς, η χρήση του προγράμματος UWOT για την μοντελοποίηση του συστήματος έχει στόχο να καταδείξει την χρησιμότητα του προγράμματος στην εκτίμηση των ροών νερού εντός του αστικού κύκλου καθώς και τις δυνατότητες που προσφέρει για περαιτέρω επέκταση των συστημάτων που μελετώνται.

Δεύτερος σκοπός είναι η αξιολόγηση της επένδυσης στην Εξόρυξη Λυμάτων τόσο όσον αφορά την αποδοτικότητα της τεχνολογίας, όσο και τη βιωσιμότητα της. Τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που θα προκύψουν δύναται να χρησιμοποιηθούν από το ίδιο το Φυτόριο για την περαιτέρω ανάπτυξη και επέκταση της επένδυσης, αλλά και ως μέτρο σύγκρισης για άλλες παρόμοιες τεχνολογίες, με απώτερο στόχο την προώθηση και την υιοθέτηση της Κυκλικής Οικονομίας ως ένα βιώσιμο μοντέλο αξιοποίησης των πόρων.

1.3 Διάρθρωση της Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια. Στο *Κεφάλαιο 1* παρουσιάζεται συνοπτικά το περιεχόμενο της εργασίας, το υφιστάμενο πλαίσιο σχετικά με τους πόρους και την αξιοποίησή τους αλλά και ο σκοπός συγγραφής της.

Στο *Κεφάλαιο 2* παρουσιάζεται το μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας στο οποίο βασίζεται η προτεινόμενη επέμβαση. Πιο αναλυτικά, αρχικά γίνεται συνοπτική αναφορά στον ορισμό της Κυκλικής Οικονομίας και το ιστορικό της έννοιας, ενώ στη συνέχεια περιγράφονται οι πιέσεις που δέχονται οι φυσικοί πόροι στο σύγχρονο περιβάλλον και πως αυτές οδηγούν στη στροφή από το Γραμμικό Μοντέλο στο Κυκλικό Μοντέλο. Προχωρώντας, γίνεται ειδικά μνεία για το νερό στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας, με την παρουσίαση χαρακτηριστικών περιπτώσεων επιτυχημένης επαναχρησιμοποίησης Νερού ανά τον κόσμο. Τέλος, εστιάζουμε στην τεχνολογία της Εξόρυξης Λυμάτων, η οποία αφορά την εργασία, για την οποία δίνονται γενικά στοιχεία αλλά και παραδείγματα εφαρμογής.

Το *Κεφάλαιο 3* καταπιάνεται με το πρόγραμμα UWOT (Urban Water Optioneering Tool). Σε πρώτη φάση δίνονται γενικές πληροφορίες σχετικά με τη χρήση του προγράμματος ως εργαλείο για τη προσομοίωση υδάτινων ροών σε αστικό περιβάλλον, ενώ σε επόμενη φάση παρουσιάζονται τα επιμέρους στοιχεία του προγράμματος και το περιβάλλον εργασίας. Επιπρόσθετα, αναφέρονται περιληπτικά προηγούμενες εφαρμογές του προγράμματος και τέλος επεξηγείται η χρήση του UWOT στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Στο *Κεφάλαιο 4* παρουσιάζεται η περίπτωση του Φυτωρίου του Δήμου Αθηναίων (Case Study). Ακριβέστερα, δίνονται κάποια γενικά στοιχεία για την περιοχή, ενώ παρουσιάζονται εν συντομία οι δραστηριότητες και τα ποσοτικά δεδομένα που αφορούν την εγκατάσταση. Εκτός από το Φυτόριο, στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η προτεινόμενη επέμβαση με την εγκατάσταση της μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων καθώς και τα αναμενόμενα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα της μονάδας βασισμένα σε παρόμοια πιλοτική μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων που ήδη λειτουργεί στο χώρο της ΕΥΔΑΠ.

Στο *Κεφάλαιο 5* περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της προσομοίωσης της νέας διάταξης του Φυτωρίου στο UWOT. Πριν από αυτό, αναφέρεται ο τρόπος συλλογής των απαραίτητων δεδομένων αλλά και η προεπεξεργασία τους για την εισαγωγή του στο πρόγραμμα. Έπειτα, παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων και στη συνέχεια η δημιουργία του μοντέλου με δύο μονάδες. Τέλος, δίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και γίνεται η αξιολόγηση τους.

Προχωρώντας, το *Κεφάλαιο 6* αφορά την χρηματοοικονομική αξιολόγηση της προτεινόμενης επένδυσης. Αφού γίνει μία αναφορά σε απαραίτητες για την κατανόηση της εργασίας οικονομικές έννοιες, ακολουθεί η περιγραφή της οικονομικής ανάλυσης και των σεναρίων που λήφθηκαν υπόψη σε αυτή. Δίνονται αναλυτικά οι πίνακες των αποτελεσμάτων και στη συνέχεια αυτά συγκρίνονται με σκοπό τον εντοπισμό της πλέον συμφέρουσας επένδυσης. Στο τελευταίο κομμάτι του κεφαλαίου, εμβαθύνουμε παραπάνω στη Μικροοικονομία των επενδύσεων διερευνώντας υποσενάρια που σχετίζονται με τις έννοιες των οικονομικών κλίμακας και της καμπύλης εμπειρίας.

Τέλος, στο *Κεφάλαιο 7* καταγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν στα πλαίσια της εργασίας αλλά και σχόλια σχετικά με το μέλλον της Κυκλικής Οικονομίας και ειδικότερα της τεχνολογίας Εξόρυξης Λυμάτων σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

2. Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

2.1 Ιστορικό και Ορισμός

Η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας έχει αρκετές ρίζες και δεν είναι δυνατόν να αποδοθεί σε ένα μοναδικό συγγραφέα ή δημοσίευση. Ήδη από τον 19^ο αιώνα, οι βιομήχανοι είχαν αναπτύξει ως ιδέα τον «Βιομηχανικό μεταβολισμό», σύμφωνα με τον οποίο η βιομηχανία δεν λειτουργεί ως μία συλλογή ανεξάρτητων εισαγωγών και εξαγωγών αλλά ως ένας ευρύτερος «οργανισμός» για τον οποίο τα απόβλητα είναι τροφή (Simmonds, 1862). Το 1848 ο R.W. Hofman, πρώτος Πρόεδρος της Βασιλικής Ακαδημίας Χημείας του Ην. Βασιλείου, υποστήριξε ότι «... το ιδανικό χημικό εργοστάσιο είναι εκείνο στο οποίο παράγονται μόνο προϊόντα, όχι απόβλητα. Όσο περισσότερο ένα πραγματικό εργοστάσιο εκμεταλλεύεται τα απόβλητα του τόσο πλησιάζει στο ιδανικό» (Lancaster, 2002).

Σύμφωνα με τον Greyson (2007, σελ. 7-8), ο όρος «Κυκλική Οικονομία» αποδίδεται στον K. Boulding (1966) ο οποίος στην εργασία του “The economics of the Coming Spaceship Earth” επεσήμανε «Ο Άνθρωπος πρέπει να βρει τη θέση του σε ένα κυκλικό οικολογικό σύστημα που είναι ικανό να παράγει συνεχώς υλικά χωρίς να μπορεί να ξεφύγει από την ανάγκη εισαγωγής ενέργειας». Το 1976 οι Walter Stahel και Genevieve Reday παρουσίασαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή την εργασία τους με τίτλο “The Potential for Substituting Manpower for Energy”, η οποία δημοσιεύτηκε ως βιβλίο λίγο αργότερα (Stahel & Reday-Mulvey, 1981). Στα πλαίσια αυτής, αναπτύσσουν την πρόταση τους για μία οικονομία με βρόγχους (ή Κυκλική Οικονομία) και τις επιπτώσεις που θα είχε στη δημιουργία θέσεων εργασίας, στην οικονομική ανταγωνιστικότητα, στην εξοικονόμηση πόρων και στην αποφυγή δημιουργίας αποβλήτων.

Πιο πρόσφατα, ο Robert (1991) έγραψε «Τα περισσότερα περιβαλλοντικά προβλήματα βασίζονται στο ίδιο συστηματικό λάθος, την γραμμική επεξεργασία των υλικών. Μέχρις ότου οι πόροι επεξεργάζονται σε κύκλους, είτε από την κοινωνία είτε από τις βιοχημικές διεργασίες, η παγκόσμια οικονομία και η δημόσια υγεία θα συνεχίσουν να επιδεινώνονται».

Φτάνοντας στο σήμερα, το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ (World Economic Forum, Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains, 2014) και το Ίδρυμα Ellen Macarthur (2013, σελ. 7) περιγράφουν την Κυκλική Οικονομία ως «Ένα βιομηχανικό σύστημα που είναι αναζωογονητικό και αναγεννητικό βάση σκοπού και σχεδιασμού. Αντικαθιστά την έννοια του τέλους της ζωής με την έννοια της αναζωογόνησης, στρέφεται προς τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, απαλείφει τη χρήση τοξικών χημικών (τα οποία εμποδίζουν την επαναχρησιμοποίηση και την επιστροφή στη Βιόσφαιρα) και στοχεύει στην απαλοιφή των αποβλήτων μέσω της βελτίωσης στο σχεδιασμό των υλικών, προϊόντων, συστημάτων και επαγγελματικών μοντέλων» (World Economic Forum, 2014, σελ.15).

2.2 Οι σύγχρονες πιέσεις στο περιβάλλον και του φυσικούς πόρους

Η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας και οι αξίες της έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες για αρκετά χρόνια. Εντούτοις, η ραγδαία αύξηση της ανθρώπινης και κατ’ επέκταση οικονομικής δραστηριότητας, που είχε ως αποτέλεσμα την αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων έχει οδηγήσει πολλές χώρες και Οργανισμούς να σκεφτούν πιο θερμά τη στροφή στο μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας.

Τις πέντε τελευταίες δεκαετίες (1970 – 2010) ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει διπλασιαστεί, το Παγκόσμιο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠΠ) έχει τετραπλασιαστεί και η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων έχει τριπλασιαστεί (International Resources Panel, 2019, σελ. 11). Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, αυτή η εκμετάλλευση επιταχύνθηκε τα τελευταία είκοσι χρόνια και ευθύνεται για την απώλεια του 90 % της βιοποικιλότητας καθώς και τις πιέσεις που δέχονται τα αποθέματα νερού του πλανήτη (International Resource Panel, 2019, σελ. 11). Από το 2000, ο ρυθμός εξόρυξης πόρων και υλικών αυξήθηκε κατά 3.2% ετησίως, ως απόρροια των επενδύσεων στην κατασκευή υποδομών και την βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης των αναπτυσσόμενων χωρών, κυρίως στην Ασία (Schandl & West, 2010).

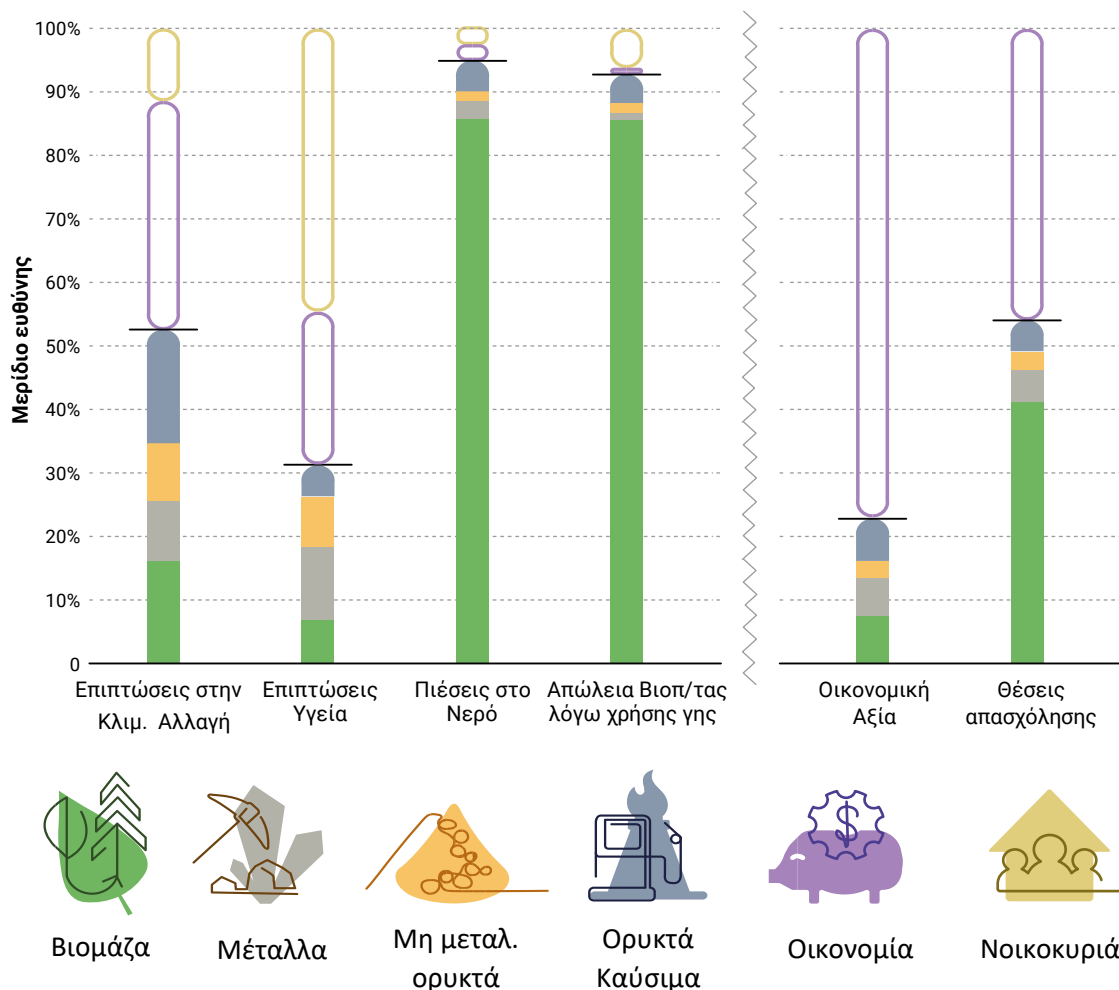
Η χρήση των φυσικών πόρων μπορεί να αναλυθεί ως εξής (International Resource Panel, 2019, σελ. 12) :

- Μέταλλα : Από το 1970 μέχρι σήμερα παρατηρείται μία αύξηση της τάξης του 2.7 % ετησίως, δείγμα της σημασίας του σε διάφορους τομείς της οικονομία όπως οι κατασκευές, η παραγωγή και κατανάλωση αγαθών.
- Μη μεταλλικά ορυκτά : Άμμος, χαλίκι και άργιλος αποτελούν την πλειοψηφία των υλικών που αναφέρονται στη συγκεκριμένη κατηγορία πόρων. Η χρήση τους έχει εκτιναχθεί από 9 δισ. τόνους το 1940 σε 44 δισ. τόνους το 2017.
- Ορυκτά καύσιμα : Η εκμετάλλευση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου αυξήθηκε από 6 δισ. τόνους το 1970 σε 15 δισ. τόνους το 2017, εντούτοις το κλάσμα της εξόρυξης παγκοσμίως μειώθηκε από 23% σε 16%.
- Βιομάζα : Το συνολικό βάρος σε τόνους αυξήθηκε από 9 δισ. τόνους σε 24 δισ. τόνους (περίοδος 1970 – 2017), με το μεγαλύτερο μερίδιο αυτής να αφορά τη χρήση στο τομέα των καλλιεργειών και της βοσκής.
- Νερό : Ο ρυθμός ανάληψης νερού για χρήση στην γεωργία, στις βιομηχανίες και στα αστικά κέντρα ήταν μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης του πληθυσμού του πλανήτη το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Από το 1970 έως το 2010, ο ρυθμός ανάληψης μειώθηκε, παρόλα αυτά η αφαίρεση νερού από το περιβάλλον αυξήθηκε από 2500 km³/έτος σε 3900 km³/έτος.
- Εκμεταλλεύσιμη Γη : Μεταξύ 2000 και 2010 η συνολική επιφάνεια της γης που χρησιμοποιούνταν για καλλιέργειες αυξήθηκε από 15.2 εκ. km² σε 15.4 εκ. km².

Σύμφωνα με σενάρια που ανέπτυξε ο IRP (International Resource Panel), η εξόρυξη και εκμετάλλευση των φυσικών πόρων θα φτάσει τους 190 δισ. τόνους και θα ξεπεράσει τους 18 τόνους κατά κεφαλήν έως το 2060, εκτός αν συντελεστεί μία σημαντική αλλαγή στον τρόπο που ο άνθρωπος χρησιμοποιεί τους πόρους στην παραγωγική διαδικασία. Επιπρόσθετα, προβλέπεται ότι μέχρι το 2060 η αφαίρεση νερού από τα φυσικά αποθέματα του πλανήτη (λίμνες, ποτάμια, ωκεανούς) θα αυξηθεί κατά 100 % σε σχέση με τα επίπεδα του 2010, ενώ η επιφάνεια του πλανήτη που χρησιμοποιείται ως αγροτική γη στο ίδιο διάστημα θα παρουσιάσει αύξηση της τάξης του 20 %, με άμεση συνέπεια τη μείωση των δασικών εκτάσεων και άλλων βιότοπων (σαβάνια, βοσκοτόπια) κατά 10 % – 20 % (International Resource Panel, 2019, σελ.27).

Στο παρακάτω σχήμα 2.1 καταδεικνύεται πόσο σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι φυσικοί πόροι και η υπερκμετάλλευση τους στα περιβαλλοντικά ζητήματα που απασχολούν την ανθρωπότητα τις τελευταίες δεκαετίες.

Η Βιομάζα χρησιμοποιείται κατά κόρον για τη παραγωγή τροφίμων, ζωοτροφών και ενέργειας. Η παραγωγή τροφίμων έχει τη μεγαλύτερη ευθύνη για την απώλεια της βιοποικιλότητας, τη διάβρωση εδαφών αλλά και την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, στην καλλιέργεια και επεξεργασία της βιομάζας αποδίδεται περίπου το 90 % των πιέσεων που δέχεται το υδάτινο περιβάλλον αλλά και η έμμεση απώλεια βιοποικιλότητας, καθώς η δέσμευση της απαιτούμενης γης οδηγεί στην καταστροφή βιοτόπων και οικοσυστημάτων. Μέχρι το 2010 η χρήση γης είχε προκαλέσει τον αφανισμό του 11 % των ειδών της γης και πάνω από το 30 % της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζεται με την επεξεργασία πόρων (International Resource Panel, 2019, σελ.16).



Σχήμα 2.1 Οι παγκόσμιες Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά χρήση πόρου (Πηγή : International Resource Panel, σελ. 16, 2019)

Αντίθετα με τις επιπτώσεις σε Νερό και Βιοποικιλότητα, η ευθύνη για την Κλιματική Αλλαγή και την επιδείνωση της Δημόσιας Υγείας είναι μοιρασμένη ανάμεσα στους πόρους. Μεταξύ 2000 και 2015, η επίπτωση που είχε η εξόρυξη μετάλλων στο Κλίμα και τη Υγεία διπλασιάστηκε, ενώ ανάμεσα στα μέταλλα ξεχωρίζει ο σίδηρος, αφού η βιομηχανία παραγωγής σιδήρου προκαλεί τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στο Κλίμα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/4 της ζήτησης της παγκόσμιας βιομηχανίας για ενέργεια (International Resource Panel, 2019, σελ. 16).

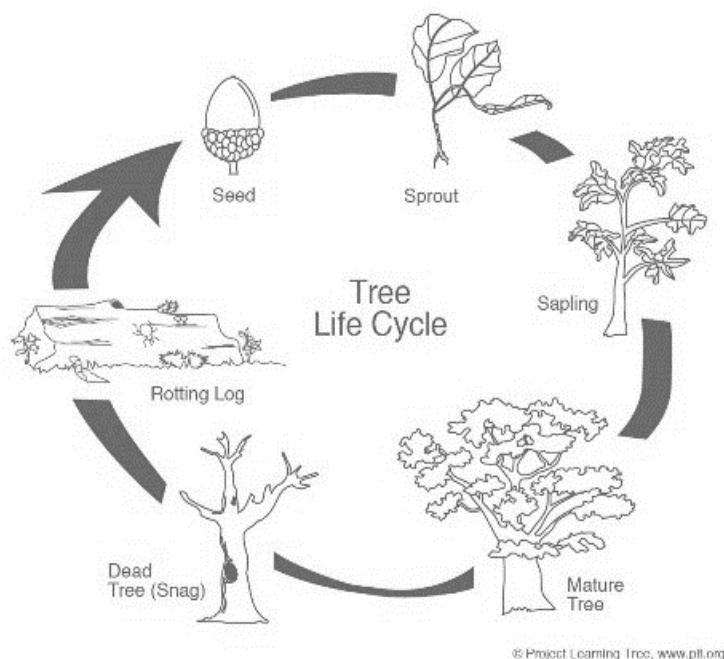
Όσον αφορά τα μη μεταλλικά ορυκτά υλικά, οι περισσότερες επιπτώσεις συναντώνται κατά την παραγωγική διαδικασία του εξυαλωμένου άνθρακα (Clinker), ένα από τα βασικά συστατικά του τσιμέντου. Ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας καθώς και ως πρώτες ύλες για μία ευρεία γκάμα προϊόντων όπως φαρμακευτικά, πλαστικά, χρώματα κ.ά. Η εξόρυξη και η επεξεργασία τους προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον και κυρίως ευθύνεται για την μόλυνση του αέρα.

Τα παραπάνω στατιστικά και στοιχεία υπογραμμίζουν την ανάγκη για επιτακτικές αλλαγές στον τρόπο που αξιοποιούνται και χρησιμοποιούνται οι πόροι του πλανήτη προτού οι συνέπειες είναι μνη αναστρέψιμες.

2.3 Η μετάβαση από τη Γραμμική στη Κυκλική Οικονομία

Εδώ και πολλές δεκαετίες το Οικονομικό Μοντέλο που έχει επικρατήσει είναι αυτό της “Γραμμικής Οικονομίας” (Linear Economy), σύμφωνα με το οποίο οι φυσικοί πόροι μετατρέπονται σε απόβλητα, μέσω της παραγωγικής διαδικασίας (Murray et al., 2015). Όμως, το Γραμμικό Μοντέλο ή αλλιώς το μοντέλο «πάρε, κατασκεύασε, πέταξε» απαιτεί, όπως αναφέρεται παραπάνω, τεράστιες ποσότητες πόρων και ενέργειας, που το καθιστά ακατάλληλο για την πραγματικότητα μέσα στην οποία λειτουργεί. Η λύση προς την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πόρων δεν είναι μονοδιάστατη. Η μείωση των χρησιμοποιούμενων πόρων και ενέργειας ανά παραγόμενη μονάδα υλικού δεν αρκεί για να αποφευχθεί η εξάντληση των πεπερασμένων πόρων, παρά μόνο δύναται να καθυστερήσει το αναπόφευκτο. Φαίνεται επομένως ότι απαιτείται μία μεταβολή στο τρόπο που λειτουργεί ολόκληρο το σύστημα (EMF, 2013).

Το μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας έχει ως κύρια έμπνευση τους κύκλους της φύσης αλλά και την δυνατότητα της να ανταπεξέρχεται στην αλλαγή (Murray et al., 2015). Στη φύση, οι βιοχημικοί κύκλοι διέπουν τη ζωή όλων των ζωντανών οργανισμών του πλανήτη. Για παράδειγμα ένας σπόρος (Εικόνα 2.1) θα δημιουργήσει ένα δέντρο. Όταν το δέντρο ωριμάσει, θα γεννήσει καρπούς οι οποίοι με τη σειρά τους θα πέσουν στο έδαφος και θα αποσυντεθούν εμπλουτίζοντας το με τα απαραίτητα θρεπτικά ώστε ο κύκλος να αρχίσει εκ νέου.

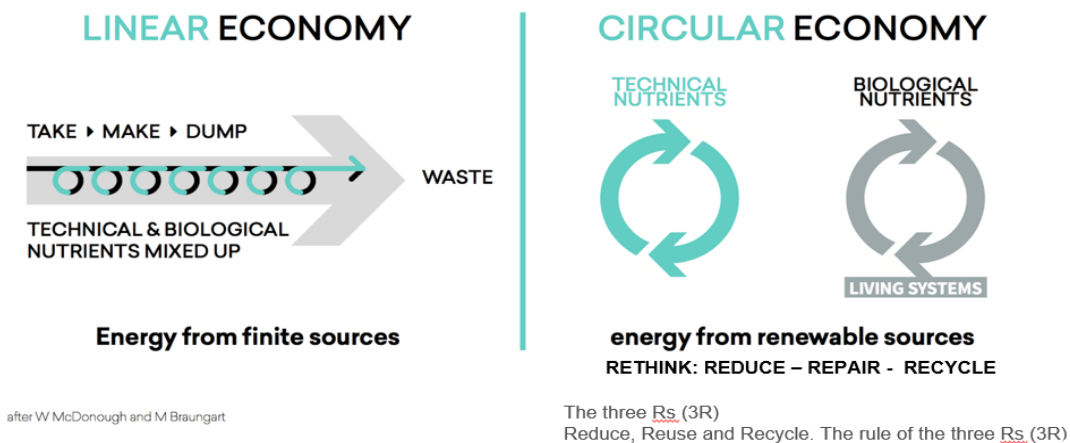


Εικόνα 2.1 Ο Κύκλος της ζωής ενός δέντρου (Πηγή : www.plt.org, 2019)

Με το τρόπο αυτό όλοι οι πόροι χρησιμοποιήθηκαν και ανανεώθηκαν. Επιπρόσθετα, σε ένα “φυσικό” κύκλο στον οποίο οι αλλαγές είναι συνεχείς και απαραίτητες για τη συνέχιση

του, ιδιαίτερη σημασία έχει ο ρυθμός με τον οποίο αυτές διατελούνται δίχως να διαταράσσεται η λειτουργία του.

Η Κυκλική Οικονομία σε πλήρη αντιστοιχία με τα παραπάνω στοχεύει “να καθυστερήσει ή να διαχειριστεί τις ροές των υλικών ώστε να δίνεται η δυνατότητα να παραμένουν στα φυσιολογικά επίπεδα” (Murray et al., 2015). Σύμφωνα με τους McDonough και Braungart (2002), στην Κυκλική Οικονομία αναγνωρίζονται δύο διαφορετικές κατηγορίες πόρων οι οποίες συναντώνται σε διαφορετικές διεργασίες και προϊόντα : η βιολογική και η τεχνολογική. Με βάση αυτές δημιουργούνται δύο αντίστοιχοι κύκλοι (Εικ. 2.2). Τα προϊόντα σχεδιάζονται ώστε οι πόροι να μπορούν να επιστρέψουν μετά τη χρήση τους είτε στη Βιολογικό κύκλο είτε/ και στον τεχνολογικό κύκλο. (Ellen Macarthur Foundation, 2016).



Εικόνα 2.2 Η Γραμμική και η Κυκλική Οικονομία (Πηγή : www.sustainabilityguide.eu)

Η Κυκλική Οικονομία διέπεται από 3 βασικές αρχές (Ellen Macarthur Foundation, 2015) (Εικόνα 2.3):

Αρχή 1^η

Η διατήρηση και ο εμπλουτισμός του φυσικού κεφαλαίου μέσω του ελέγχου των πεπερασμένων αποθεμάτων και της εξισορρόπησης των ροών των ανανεώσιμων πόρων. Σε αυτή τη λογική πρέπει να επιδιώκεται η χρήση τεχνολογιών και διεργασιών με την “βέλτιστη αξιοποίηση/απόδοση των πόρων”. Επιπρόσθετα, ενθαρρύνεται η ελεύθερη ροή των στοιχείων μέσα στο σύστημα και η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών ώστε να διευκολύνεται η αναζωογόνηση του (Ellen Macarthur Foundation, 2015, σελ. 5).

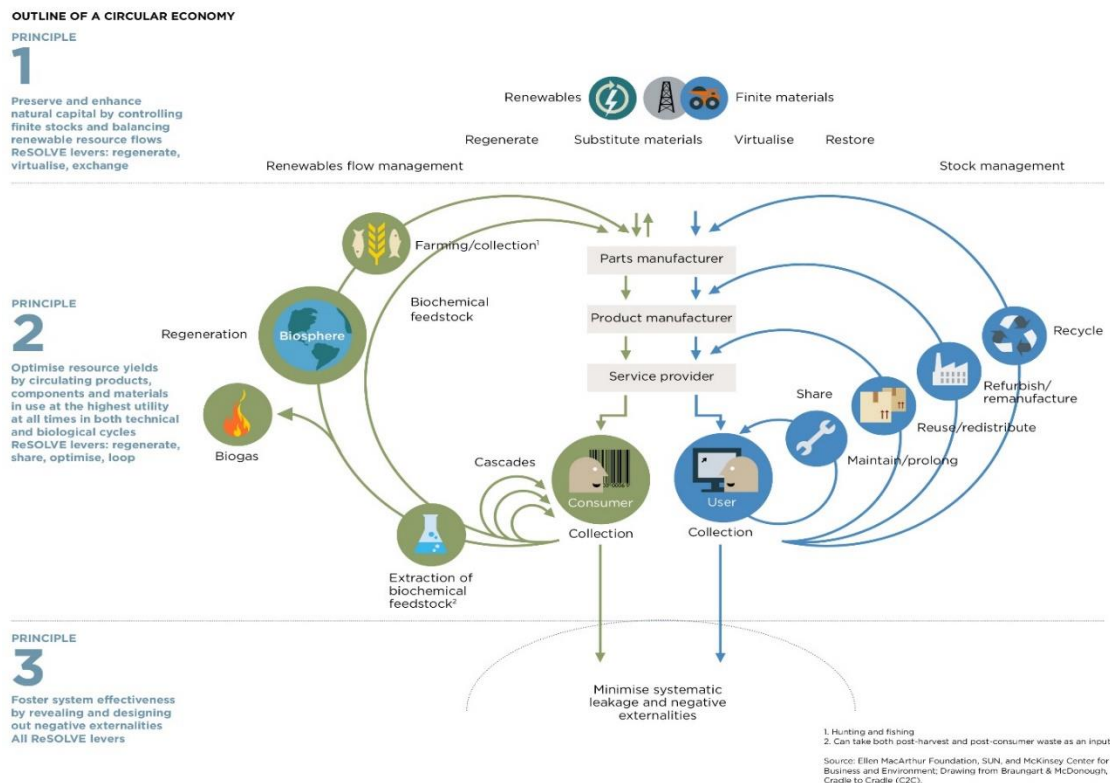
Αρχή 2^η

Η βελτιστοποίηση της απόδοσης των πόρων με την ανακυκλοφορία προϊόντων, συστατικών, υλικών όταν αυτά παρουσιάζουν τη μέγιστη χρηστικότητα τους σε αμφοτέρους τον τεχνολογικό και τον βιολογικό κύκλο. Με άλλα λόγια, επιδίωξη είναι ο σχεδιασμός των υλικών με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατό να ανακυκλοφορούν μέσα στο σύστημα και να εισέρχονται σε διαφορετικούς κύκλους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί για τα στοιχεία του τεχνολογικού κύκλου χρησιμοποιώντας στενότερους κύκλους ή “tighter inner loops” (Ellen Macarthur, 2015, Σελ. 6), με σκοπό να παρατείνεται η χρηστικότητά τους. Ένα παράδειγμα, που δίνεται στο έγγραφο είναι η έννοια της “συντήρησης πριν την ανακύκλωση”. Όσον αφορά τον βιολογικό κύκλο, η προσπάθεια έγκειται στη δημιουργία προϊόντων που μετά το πέρας της χρηστικότητάς τους ή

την κατανάλωση τους να δύναται να επιστρέψουν ασφαλών στη Βιόσφαιρα ώστε να εισέλθουν πλέον σε ένα νέο κύκλο.

Αρχή 3^η

Η υποστήριξη της αποδοτικότητας του συστήματος μέσω της εύρεσης και της αφαίρεσης αρνητικών εξωτερικότητων. Η αρχή αυτή αναφέρεται στην ανάγκη περιορισμού των πιθανών αρνητικών συνεπειών από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος σε μία σειρά από διαφορετικούς τομείς της Οικονομίας και της Κοινωνίας όπως οι τομείς των τροφίμων, των μεταφορών, της Εκπαίδευσης, της Υγείας και της Ψυχαγωγίας. Επιπρόσθετα, σκοπός είναι και η διαχείριση άλλως ζητημάτων που αφορούν “τη χρήση γης, τη μόλυνση αέρα και νερού, την ηχορύπανση και την απελευθέρωση τοξικών ουσιών” (Ellen Macarthur Foundation, 2015, Σελ.7).



Εικόνα 2.3 Οι αρχές της Κυκλικής Οικονομίας (Πηγή : www.ellenmacarthurfoundation.org)

Τα χαρακτηριστικά της Κυκλικής Οικονομίας, τα οποία ακολουθούν τις παραπάνω αρχές, είναι:

1. Η αφαίρεση των αποβλήτων

Απόβλητα δεν υφίστανται στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας, εφόσον εκ σχεδιασμού όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για ένα προϊόν είναι σχεδιασμένα ως μέρος ενός κύκλου (βιολογικού ή τεχνολογικού). Όλα τα βιολογικά υλικά είναι μη τοξικά και απλά αποσυντίθεται. Τα τεχνολογικά υλικά (πολυμερή, κράματα κ.ά.) ανακτώνται, ανανεώνονται και επαναχρησιμοποιούνται με τη ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια και τη μέγιστη δυνατή διατήρηση ποιότητας (Ellen Macarthur Foundation, 2015, σελ. 22).

2. Η ποικιλομορφία χιτίζει ανθεκτικότητα

Το σύστημα της Κυκλικής Οικονομίας θεωρεί ύψιστης σημασίας έννοιες όπως η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα. Τα ποικιλόμορφα συστήματα με πολλές συνδέσεις και επίπεδα είναι πιο ανθεκτικά σε εξωτερικές επιδράσεις από συστήματα τα οποία λειτουργούν αποκλειστικά με κίνητρο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης (Ellen Macarthur Foundation, 2015, σελ. 22).

3. Κινητήριος μοχλός του συστήματος είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Σκοπός της Κυκλικής Οικονομίας είναι η ενέργεια που τροφοδοτεί το σύστημα να είναι ανανεώσιμη εκ φύσης της, ώστε να μειώνεται η εξάρτηση από πεπερασμένους πόρους αλλά και να αυξηθεί η ανθεκτικότητα του συστήματος (Ellen Macarthur Foundation, 2015, σελ. 7).

4. Τα πάντα κινούνται υπό το πρίσμα των συστημάτων

Στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας, εξετάζεται η σχέση όλων των στοιχείων με τις υποδομές τους, το περιβάλλον αλλά και τις κοινωνικές δομές μέσα στις οποίες λειτουργούν. Είναι μία αποδοχή ότι το σύστημα αυτό δεν υπάρχει σε μία αποκομμένη πραγματικότητα αλλά επηρεάζει και επηρεάζεται από ένα δυναμικό και συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

2.4 Το νερό στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας

Οι αρχές της Κυκλικής Οικονομίας είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις και για μία ευρεία κατηγορία πόρων και αγαθών. Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας θα επικεντρωθούμε στην εφαρμογή του μοντέλου της Κυκλικής Οικονομίας στο τομέα του νερού.

2.4.1 Γενικά στοιχεία για το Κύκλο του Νερού

Η κατανόηση του Κύκλου του Νερού και των πιέσεων που δέχεται είναι σημαντική για να καταδειχθεί η χρησιμότητα των εννοιών της Κυκλικής Οικονομίας στην αντιμετώπιση των ζητημάτων που το αφορούν. Το νερό, ως αγαθό, είναι κρίσιμο για την ανθρώπινη επιβίωση και την ευημερία, ενώ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς της οικονομίας.

Οι Υδάτινοι πόροι του πλανήτη παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση (χωρική και χρονική) ενώ παράλληλα δέχονται έντονες πιέσεις λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας και της οικονομικής ανάπτυξης (Forsslund, et al., 2009). Προβλέπεται ότι στις επόμενες 2 δεκαετίες περίπου 3 δις άνθρωποι θα εισέλθουν στην παγκόσμια καταναλωτική κοινότητα, επιταχύνοντας την υποβάθμιση των φυσικών πόρων και εντείνοντας τον ανταγωνισμό για την απόκτηση και εκμετάλλευσή τους. Σε κανένα άλλο τομέα δε φαίνεται τόσο έντονα αυτή η αναπτυσσόμενη ανισορροπία από ότι στον τομέα του νερού (Stuchtey, 2015). Διάφορα κλιματικά σενάρια προβλέπουν ακόμα μεγαλύτερες χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις στον κύκλο του νερού, οι οποίες θα επιτείνουν τις αποκλίσεις μεταξύ ζήτησης και αποθεμάτων (International Resource Panel, 2019).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.2) παρουσιάζονται μερικά ενδιαφέροντα στατιστικά σχετικά με τη σημερινή αλλά και τη μελλοντική χρήση του νερού σε επιλεγμένους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.



ΤΡΟΦΙΜΑ

70 % της
ζήτησης νερού
ήταν από το τομέα
γεωργίας

60 % αύξηση
στην παραγωγή
τροφίμων θα
χρειαστεί μέχρι το
2060 λόγω της
αύξησης του
πληθυσμού



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΕΙΣ

55 % αύξηση
στη ζήτηση νερού
μέχρι το 2050,
κυρίως στις πόλεις

400 % αύξηση
στη ζήτηση νερού
μέχρι το 2050 από
το βιομηχανικό
τομέα



ΕΝΕΡΓΕΙΑ

15 % από τη
παγκόσμια χρήση
νερού γίνεται για
την παραγωγή
ηλεκτρικού
ρεύματος

5 - 30 % του
λειτουργικού κόστους
υπηρεσιών
επεξεργασίας νερού
και λυμάτων
οφείλονται στη
κατανάλωση
ενέργειας



ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ

20 τρισ. \$
είναι η ζημιά στο
οικοσύστημα λόγω
της ρύπανσης και
της αλλαγής
χρήσης γης

120 τρισ. \$
είναι η οικονομική
αξία των
υπηρεσιών του
οικοσυστήματος και
του περιβάλλοντος

Σχήμα 2.2 Στατιστικά και στοιχεία των παγκόσμιων υδροσυστημάτων (Πηγή : *Tajir et al., 2018*)

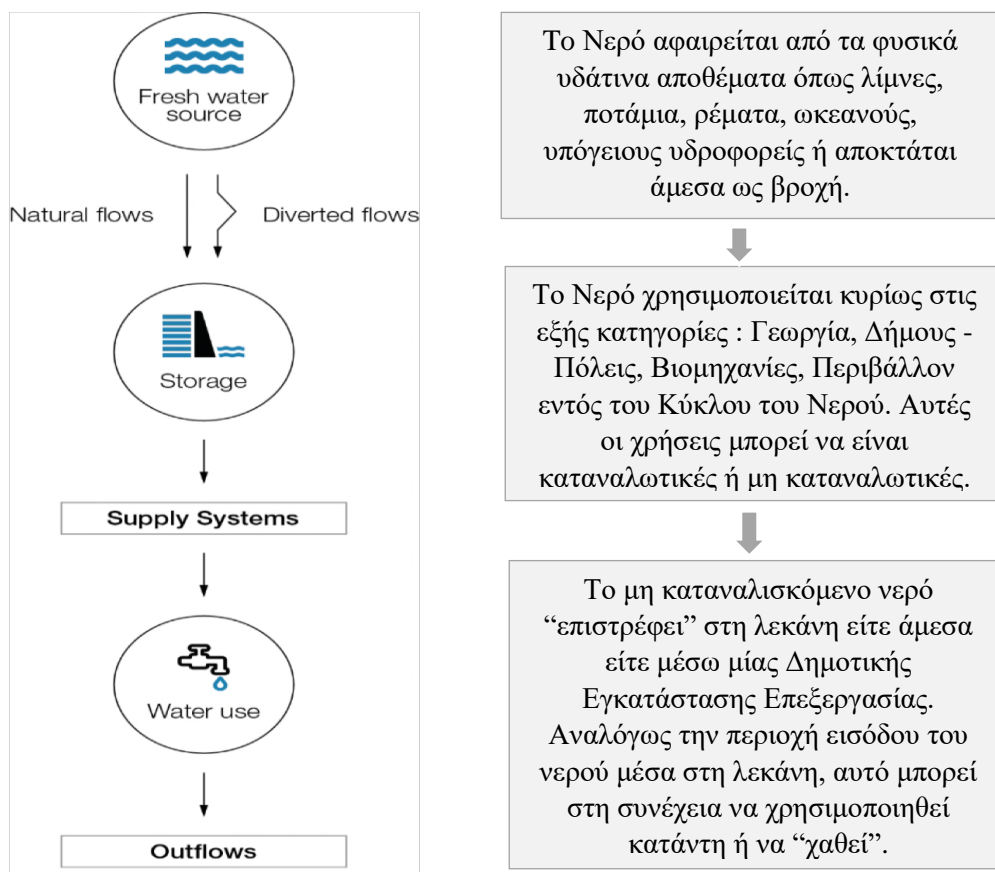
Συνολικά το ζήτημα του νερού (πρόσβαση σε καθαρό νερό – έλλειψη νερού – διαχείριση αποθεμάτων) θεωρείται από τους επιστήμονες ως ένας από τους μεγαλύτερους Παγκόσμιους κινδύνους, αφού εκτιμάται ότι μέχρι το 2030 η έλλειψη στα αποθέματα νερού σε σχέση με τη ζήτηση θα φτάσει το 40 %, εκτός και αν συντελεστούν σημαντικές αλλαγές στον τρόπο εκμετάλλευσης του (Voulvoulis, 2018) και (World Economic Forum, 2015).

Η διαθεσιμότητα υδάτινων αποθεμάτων είναι, επίσης, άρρηκτα συνδεδεμένη με την ποιότητα του νερού, αφού ποιοτική υποβάθμιση των υδάτινων πόρων οδηγεί στην απαγόρευση συγκεκριμένων χρήσεων του. Οι μεγαλύτεροι ρυπαντές του νερού είναι οι αυξημένες εκροές από μη επεξεργασμένα αστικά λύματα, τα παραπροϊόντα από τη γεωργία αλλά και τα ανεπαρκώς επεξεργασμένα βιομηχανικά λύματα (Hsu et al., 2016).

Βασισμένη στα παραπάνω, η Ευρωπαϊκή Ένωση σε πρόσφατες εκθέσεις της υπερτονίζει την ανάγκη των Ευρωπαϊκών κρατών, πρωτίστως να αναγνωρίσουν πως “Το Νερό είναι ένας απαραίτητος πεπερασμένος πόρος ο οποίος απαιτείται να χρησιμοποιείται και να διανέμεται με ιδιαίτερη σύνεση” και δευτερευόντως να στραφούν σε Κυκλικές και Πράσινες Οικονομίες (EUWAW, 2014).

2.4.2 Μία νέα, “Κοκλική” αντίληψη στη διαχείριση Νερού

Μέχρι σήμερα η διαχείριση του νερού όπως και των περισσότερων πόρων ακολουθεί μία γραμμική λογική. Η μέθοδος “ Πάρε – Κατασκεύασε – Πετάξε” που είναι συνώνυμη με τη Γραμμική Οικονομία μετατρέπεται, στην περίπτωση του Νερού, σε “Πάρε – Χρησιμοποίησε – Απόθεσε”. Αυτό το σύστημα λειτουργεί ως εξής :



Σχήμα 2.3 Το Γραμμικό Μοντέλο Νερού (Πηγή : *Tajir et al., 2018*)

Κατά τον σχεδιασμό ενός νέου κυκλικού συστήματος, 3 διαφορετικές ιδιότητες του Νερού πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αποτελεσματικότερη αξιοποίησή του (Tajir et al., 2018):

Το Νερό ως προϊόν

Μερικές από τις υπηρεσίες που προσφέρει το Νερό είναι ο καθαρισμός κατοικιών και επιχειρήσεων, η θέρμανση/ψύξη κτιρίων ενώ χρησιμοποιείται κατά κόρον και στην παραγωγική διαδικασία των εργοστασίων. Πολλές φορές όμως η χρήση του νερού δεν είναι απαραίτητη και ίδια αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με άλλα μέσα. Για παράδειγμα, η χρήση του νερού στα εργοστάσια για τη ψύξη των μηχανημάτων δύναται να αντικατασταθεί με αέρια ψύξη η οποία παρέχει την ίδια υπηρεσία αλλά με χαμηλότερη απόδοση.

Το Νερό ως πηγή Ενέργειας

Οι φυσικές ιδιότητες του Νερού μπορούν να αξιοποιηθούν ως πηγές ενέργειας. Η ροή του νερού είναι δυνατόν να δαμαστεί για την παραγωγή υδρο-ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι θερμικές του ιδιότητες του επιτρέπουν να απορροφά θερμική ενέργεια από το περιβάλλον ή ως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας η οποία στη συνέχεια είναι αξιοποιήσιμη. (π.χ. παραγωγή ενέργειας από τα λύματα)

Το Νερό ως φορέας ουσιών

Το Νερό μέσα από τις διαδρομές που ακολουθεί τόσο στο φυσικό όσο και στο “ανθρώπινο” περιβάλλον λειτουργεί ως φορέας πληθώρας διαφορετικών υλικών τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό του νέου Κύκλου του Νερού. Νερό που προέρχεται

από γεωργικές δραστηριότητες παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση φωσφόρου και αζώτου λόγω της χρήσης λιπασμάτων. Αντίστοιχα, αστικό και βιομηχανικό νερό μπορεί να μεταφέρει χημικά τα οποία χρησιμοποιούνται είτε οικιακά είτε κατά τη παραγωγική διαδικασία των εργοστασίων. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται η απομάκρυνση τους, για την αποφυγή μόλυνσης και την προστασία του περιβάλλοντος. Βελτιωμένη ποιότητα των εκροών του νερού δίνει τη δυνατότητα για την επαναχρησιμοποίηση του και μειώνει το κόστος περαιτέρω επεξεργασίας για τις επόμενες χρήσεις.

Με βάση τα παραπάνω το Κυκλικό Μοντέλο για το Νερό θα ακολουθεί τις εξής βασικές αρχές (Tajir et al., 2018):

Αρχή 1^η : Η διατήρηση και ο εμπλουτισμός του φυσικού κεφαλαίου

- Μεγιστοποίηση περιβαλλοντικών ροών μέσω της μείωσης των καταναλωτικών και μη χρήσεων του νερού.
- Διατήρηση και εμπλουτισμός των φυσικών αποθεμάτων (αποκατάσταση ποταμών, αποφυγή ρύπανσης, έλεγχος ποιότητας των τελικών αποβλήτων που φτάνουν στα υδάτινα σώματα, κ.ά.
- Εξασφάλιση της ελάχιστης δυνατής ανθρώπινης επέμβασης στα φυσικά υδρο-συστήματα.

Αρχή 2^η : Η διατήρηση των πόρων στον κύκλο

- Βελτιστοποίηση της απόδοσης του νερού (π.χ. επαναχρησιμοποίηση νερού, παραγωγή ενέργειας, αξιοποίηση θρεπτικών και ουσιών στο νερό) στα διάφορα συστήματα.
- Βελτιστοποίηση της αξίας που δημιουργείται κατά της αλληλεπίδρασης των συστημάτων νερού με άλλα συστήματα.

Αρχή 3^η : Αφαίρεση των αρνητικών εξωτερικοτήτων

- Βελτιστοποίηση της ποσότητας ενέργειας, θρεπτικών και χημικών που χρησιμοποιείται από τα υδρο-συστήματα σε συνδυασμό με άλλα συστήματα.
- Αντικατάσταση της χρήσης νερού με άλλα μέτρα που αποδίδουν το ίδιο αποτέλεσμα όπου είναι εφικτό.

Συμπερασματικά, στα πλαίσια του Κυκλικού Μοντέλου μερικά από τα μέτρα που μπορούν να υιοθετηθούν είναι (Εικόνα. 2.4):

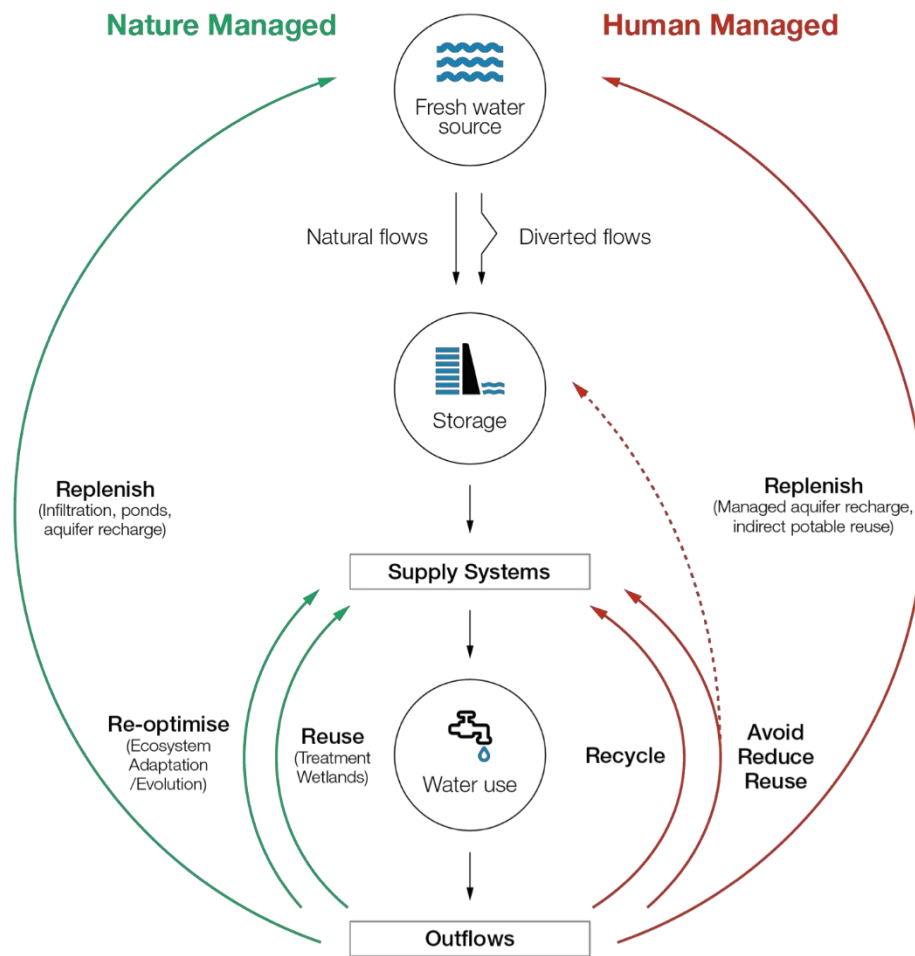
Αποφυγή Χρήσης : Επανασχεδιασμός προϊόντων και υπηρεσιών, όπως και εξάλειψη αναποτελεσματικών πρακτικών.

Μείωση Χρήσης : Βελτίωση της απόδοσης χρήσης του νερού, καλύτερη διανομή και διαχείριση του πόρου.

Επαναχρησιμοποίηση : Διαρκής επιδίωξη ευκαιριών επαναχρησιμοποίησης του νερού είτε μέσα σε ένα σύστημα (closed loop), είτε με τη μεταφορά του σε γειτονικά συστήματα και κοινότητες.

Ανακύκλωση : Είτε σε εσωτερικά συστήματα ή/και σε εξωτερικές εφαρμογές

Ανεφοδιασμός αποθεμάτων : Αποδοτική και αποτελεσματική επιστροφή του νερού στις φυσικές λεκάνες.



Εικόνα 2.4 Ο φυσικός κύκλος του Νερού σε αντιστοιχία με το μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας για το Νερό (Πηγή : *Water & Circular Economy - NextGen Water*, 2019)

2.5 Επιτυχημένες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης Νερού

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν μία σειρά από μέτρα που προβλέπονται στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας για την αντιμετώπιση του ζητήματος της διαχείρισης του Νερού. Στη συνέχεια, θα εξεταστεί πιο εξονυχιστικά το μέτρο της επαναχρησιμοποίησης ενώ θα δοθούν και κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών.

Ήδη σε αρκετές χώρες έχει γίνει προσπάθεια για την αλλαγή στο τρόπο διαχείρισης του Νερού και την υιοθέτηση της λογικής της επαναχρησιμοποίησης του. Στα πλαίσια του αστικού κύκλου του Νερού, με τον όρο επαναχρησιμοποίηση εννοείται, ως επί το πλείστον, η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων (απόβλητο) για την τροφοδότηση (ως πόρος) σε μία μη πόσιμη χρήση νερού όπως η άρδευση (Makropoulos et al., 2017). Στην Ευρώπη, με την υιοθέτηση της Οδηγίας για την Επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων (The Council of the European Communities, 1991), υπάρχουν ήδη αποτελέσματα επεξεργασμένων λυμάτων υψηλής ποιότητας τα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης Νερού αλλά και περιορισμοί που τίθενται σε κάποιες περιπτώσεις (Angelakis & Gikas, 2014).

Πίνακας 2.1 Οι συνηθέστερες εφαρμογές στην επαναχρησιμοποίηση του νερού και οι περιορισμοί τους (Πηγή: Angelakis & Gikas, 2014)

Εφαρμογές	Περιορισμοί
Άρδευση (για γεωργία αλλά και κήπους)	Εποχιακή ζήτηση Αποστάσεις από το σημείο ανάκτησης
Βιομηχανική Χρήση	Συνεχή ζήτηση σε συγκεκριμένη τοποθεσία
Αστική χρήση (Μη πόσιμη)	Μειωμένη ζήτηση Ανάγκη ύπαρξης χωριστικού αποχετευτικού συστήματος
Περιβαλλοντικές χρήσεις/αναψυχής	Περιορισμένες τοποθεσίες
Έμμεση χρήση ως πόσιμο νερό μέσω ανατροφοδότησης υπόγειων υδροφορέων	Απαίτηση κατάλληλου υδροφορέα
Έμμεση χρήση ως πόσιμο νερό μέσω αύξησης του επιφανειακού νερού	Απαίτηση κατάλληλου ταμιευτήρα μεταξύ των θέσεων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης
Άμεση χρήση ως πόσιμο Νερό	Περιορισμένη κοινή αποδοχή

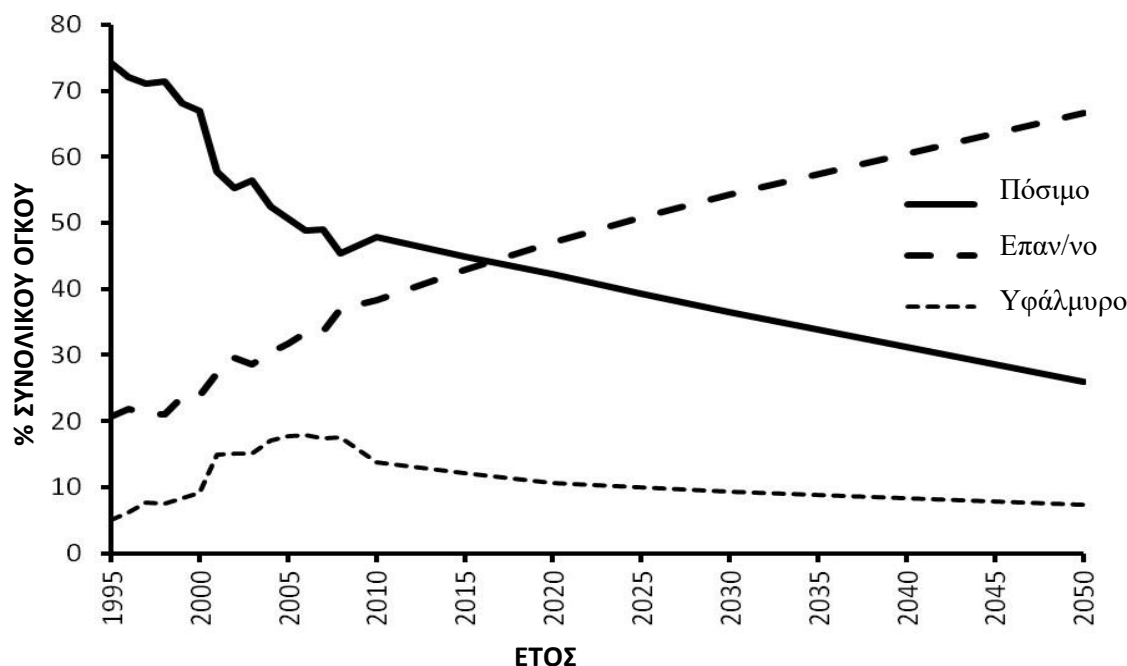
2.5.1 Η περίπτωση του Ισραήλ

Το Ισραήλ, η μεγαλύτερη επιφάνεια του οποίου χαρακτηρίζεται από ξηρό ή ημί-ξηρο κλίμα αντιμετωπίζει εδώ και χρόνια τη κρίση του Νερού. Βασίζεται σε 4 μήνες σποραδικής βροχόπτωσης ετησίως για να αναπληρώσει τα φυσικά υδάτινα αποθέματα. Ο φυσικός ρυθμός αναπλήρωσης του νερού (κυρίως μέσω της βροχόπτωσης) υπολογίζεται στα 1249 εκ. m³/έτος (mcm/year), εντούτοις παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις στη βροχόπτωση ανά έτος, αφού από το 1993 παρατηρείται παρατεταμένη ξηρασία που έχει οδηγήσει στη μείωση του αριθμού αυτού στα 1155 εκ. m³/έτος (Rejwan, 2011, σελ. 4). Η ετήσια κατανάλωση, από την άλλη πλευρά, ανέρχεται στα 2030 εκ. m³/έτος, με την ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο να υπολογίζεται στα 250 λίτρα. Κατ' επέκταση η ετήσια έλλειψη Νερού που προκύπτει είναι της τάξης του 45 % .

Για την αποφυγή μίας ανθρωπιστικής και οικονομικής κρίσης το Ισραήλ επένδυσε στις μεθόδους διαχείρισης Νερού και πιο συγκεκριμένα στην επαναχρησιμοποίηση του. Πλέον, είναι η πρωτοπόρος χώρα στον συγκεκριμένο τομέα αφού σύμφωνα με την Εθνική Υπηρεσία Νερού του Ισραήλ (Israeli Water Authority), από το 2014 το 87 % των επεξεργασμένων λυμάτων της χώρας (400 δις λίτρα/έτος) επαναχρησιμοποιούνται. Τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την άρδευση αγροτικών περιοχών και σε μικρότερο ποσοστό για πότισμα ή για βιομηχανική χρήση (Avgar, 2018).

Η σημαντικότερη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της χώρας είναι η εγκατάσταση Dan, η οποία δέχεται το μεγαλύτερο μέρος των λυμάτων του Τελ Αβίβ (περίπου 350000 m³/ημ). Αποτελείται από μονάδες προ-επεξεργασίας, αναερόβιες δεξαμενές, δεξαμενές ενεργού ιλύος αλλά και εγκαταστάσεις δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (Σχ. 2.4). Η εκροή των λυμάτων από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τροφοδοτείται σε λεκάνες αναπλήρωσης επιφάνειας 80 εκταρίων, όπου το νερό φιλτράρεται με την κάθετη ροή στο υδροφορέα σε βάθος 15–30 m, και στη συνέχεια απλώνεται οριζόντια (Angelakis & Gikas, 2014).

Το νερό, στη συνέχεια, ανακτάται μέσω 100 φρεατίων, τοποθετημένα 300 με 1500 m από της λεκάνες αναπλήρωσης και μεταφέρεται μέσω αγωγών σε μία απόσταση περίπου 100 km, όπου διανέμεται για άρδευση αγροτικών εκτάσεων. Είναι χαρακτηριστικό ότι μέχρι το 1993, περίπου το 25 % των αναγκών για άρδευση καλύπτονταν από επαναχρησιμοποιούμενο νερό, ενώ το 2011 υπολογίζεται ότι περίπου το 38 % του αρδευτικού νερού προέρχεται από επεξεργασμένα λύματα (περίπου 500 εκ. m³/έτος) (Rejwan, 2011). Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μετάβαση στις ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται στην άρδευση από το πόσιμο νερό σε επαναχρησιμοποιούμενο.



Σχήμα 2.4 Σύγκριση ποσοστού πόσιμου νερού, επαναχρησιμοποιούμενου νερού και υφάλμυρου νερού για χρήση στη γεωργία (1995 – 2050) (Πηγή : Βασισμένο σε διάγραμμα από Rejwan, 2011)

2.5.2 Η περίπτωση της Σιγκαπούρης

Η Σιγκαπούρη είναι ένα νησί έκτασης 699 km² και πληθυσμού περίπου 5.7 εκατομμυρίων κατοίκων (Singapore Department of Statistics, 2018). Από την απελευθέρωση της το 1965, το ζήτημα της ασφάλειας του Νερού ήταν και παραμένει μείζονος σημασίας για τη χώρα. Παρόλο που η ετήσια βροχόπτωση φτάνει τα 2.3 m, η μικρή επιφάνεια της χώρας δεν αφήνει πολλά περιθώρια για τη συλλογή και την αποθήκευση ικανοποιητικού όγκου βρόχινου νερού (Global Water Forum, 2018). Μάλιστα, το 2015 το Ινστιτούτο Υδάτινων Πόρων (Water Resources Institute, 2015) κατέταξε τη Σιγκαπούρη ως μία από τις πιο δοκιμαζόμενες χώρες στο τομέα του Νερού και υποστήριξε ότι μέχρι το 2040 η Σιγκαπούρη θα είναι μία από τις 7 χώρες του πλανήτη πιο ευάλωτες στην διατάραξη των υδάτινων αποθεμάτων.

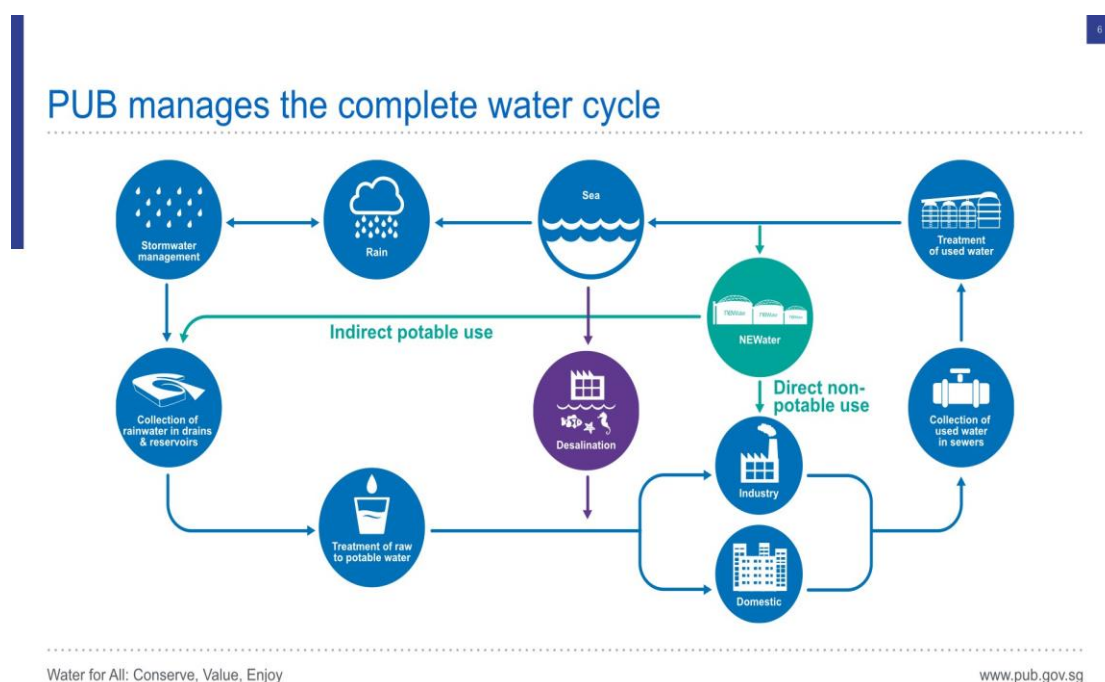
Για το λόγο αυτό η Εθνική Υπηρεσία Νερού της Σιγκαπούρης (PUB) στράφηκε σε 4 διαφορετικές πηγές για την εξασφάλιση των απαραίτητων όγκων νερού : τοπικό νερό, εισαγόμενο νερό από τη γειτονική Μαλαισία, νερό από αφαλάτωση και το σύστημα NEWater.

Σε μία προσπάθεια να εξερευνηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων για βιομηχανική χρήση αλλά και για πόσιμο νερό, η κυβέρνηση της

Σιγκαπούρης προώθησε το 1998 ένα πρόγραμμα επίδειξης για ανακύκλωση των λυμάτων με αρχική δυνατότητα επεξεργασίας 10000 m³/ημ. Σύμφωνα με το πρόγραμμα, ένα ποσοστό της επεξεργασμένης εκροής από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Bedok, οδηγούνται σε μία νέα εγκατάσταση εξαγνισμού του νερού το Εργοστάσιο NEWater το οποίο περιελάμβανε μονάδες απολύμανσης με χρήση τεχνολογικών μικροφίλτρων (MF), αντίστροφης ώσμωσης (RO) και υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) (Giar, 2005; Law, 2003; Singh, 2005).

Η ποιότητα του “νέου” Νερού (NEWater) που παραγόταν με αυτή τη διαδικασία ικανοποιούσε τις ποιοτικές προδιαγραφές για πόσιμο νερό τόσο του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2011) όσο και της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) (Lee & Tan, 2016).

Σήμερα, το NEWater χρησιμοποιείται τόσο ως πόσιμο (έμμεσα) (Indirect Potable Use – IPU) όσο και σε μη πόσιμες χρήσεις (άμεσα) (Direct Non potable uses – DNPU) (Εικόνα 2.5). Όσον αφορά το πρώτο κομμάτι, το Νερό δε διανέμεται απευθείας στο σύστημα ύδρευσης αλλά εκχύνεται στις υπάρχουσες δεξαμενές συλλογής και αποθήκευσης βρόχινου νερού, προτού στη συνέχεια οδηγηθούν μαζί (NEWater και βρόχινο νερό) στις μονάδες επεξεργασίας και παραγωγής πόσιμου νερού. Ο λόγος είναι πως ακόμα στη Σιγκαπούρη υπάρχει σκεπτικισμός στο κοινό σχετικά με τη ποιότητα και την ασφάλεια του επαναχρησιμοποιούμενου νερού ως νερό ύδρευσης. Όσον αφορά τις άλλες χρήσεις το νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση πάρκων, τη θέρμανση/ψύξη κτιρίων αλλά και στη βιομηχανία (PUB, 2018) .

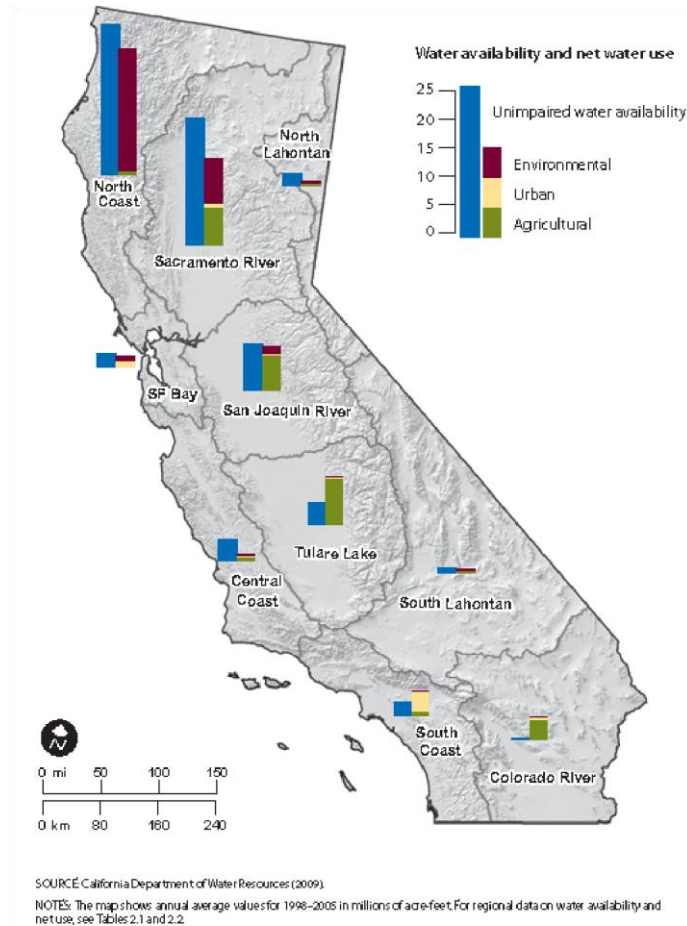


Εικόνα 2.5 Το σύστημα διαχείρισης του Νερού της Σιγκαπούρης (Πηγή: www.pub.gov.sg)

Σύμφωνα με την έκθεση της Εθνικής Υπηρεσίας Νερού της Σιγκαπούρης με τίτλο “Our Water, Our Future” εκτιμάται ότι περίπου το 40 % των συνολικών αναγκών της χώρας καλύπτονται σήμερα από το σύστημα NEWater. Σκοπός της κυβέρνησης είναι το 2060 το ποσοστό αυτό να ξεπεράσει το 55 %.

2.5.3 Η περίπτωση του Orange County, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Η Καλιφόρνια είναι μία περιοχή στην οποία κατοικούν περίπου 39 εκ. άνθρωποι (United States Census Bureau), αλλά στην οποία οι διακυμάνσεις στη ζήτηση νερού είναι μεγάλες μεταξύ Βορρά και Νότου. Η Β. Καλιφόρνια είναι πλούσια σε υδάτινα αποθέματα (Εικ. 2.6) και αρκετά αραιοκατοικημένη ενώ η Ν. Καλιφόρνια ακριβώς το αντίθετο.



Εικόνα 2.6 Η διακύμανση των αποθεμάτων και της ζήτησης νερού στην Καλιφόρνια (Πηγή : Lund, 2016)

πληθυσμό που ξεπερνάει τα 3.000.000 (United States Census Bureau), χαρακτηρίζεται από ημί-ξηρο κλίμα και δέχεται κατά μέσο όρο 330 mm βροχής ετησίως. Εκτός από την αυξημένη ζήτηση νερού, η περιοχή από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι το 1990, αντιμετώπιζε σοβαρό πρόβλημα λόγω εισχώρησης θαλασσινού νερού στην υπόγειο υδροφορέα εξαιτίας της υπεράντλησης (Herndon & Markus, 2014).

Για τους λόγους αυτούς, από το 1970 η κομητεία του Orange και η Υπηρεσία Νερού (Orange County Water District) στράφηκαν στην επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων. Το 1975 κατασκευάστηκε το Water Factory 21 (WF 21), το οποίο ονομάστηκε έτσι χάρη στην προηγμένη τεχνολογία του που δεν συμβάδιζε με τεχνολογίες του 20^{ου} αλλά περισσότερο του 21^{ου} αιώνα. Το Water Factory 21 είχε δυνατότητα επεξεργασίας 56775m³ λυμάτων την ημέρα, τα οποία τροφοδοτούνταν στην εγκατάσταση από την Υγειονομική Υπηρεσία (Orange County Sanitation District – OCS). Στο συγκεκριμένο εργοστάσιο λειτουργούσαν τεχνολογίες αιχμής για την εποχή όπως: χρήση πολλαπλών φίλτρων (multimedia filtration), μονάδες χλωρίωσης

Αρχικά, η κάλυψη των αναγκών των νότιων περιοχών γινόταν με μεταφορά νερού από τα Βόρεια μέσω ενός συστήματος καναλιών και σταθμών άντλησης, αλλά και από την αξιοποίηση του ποταμού Κολοράντο (Angelakis & Gikas, 2014).

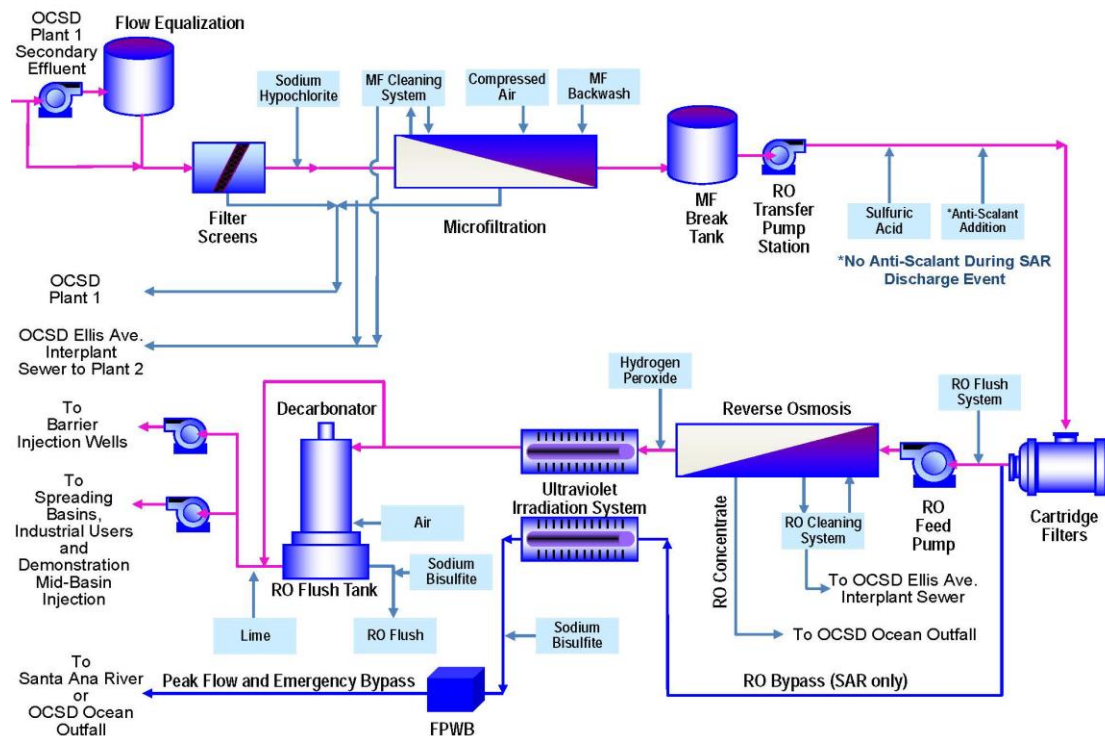
Ο μεγαλύτερος προβληματισμός σχετικά με τη μεταφορά νερού από τη μία περιοχή στην άλλη ήταν ότι αποδείχθηκε ενεργειακά κοστοβόρο, αφού τα όρη Tehachari που διαπερνούν την Καλιφόρνια, δημιουργούν την απαίτηση για χρήση περαιτέρω αντλιών, με αποτέλεσμα τα οικονομικά δεδομένα να γίνονται ασύμφορα. Υπολογίζεται ότι για τη μεταφορά νερού στη Νότια Καλιφόρνια η ενεργειακή επιβάρυνση είναι 60 φορές παραπάνω από ότι στη Β. Καλιφόρνια (Angelakis & Gikas, 2014, σελ. 75).

Η κομητεία του Orange βρίσκεται στη Ν. Καλιφόρνια, έχει

αλλά και μία μονάδα αντίστροφης ώσμωσης (RO) με δυνατότητα επεξεργασίας 18925 m³/ημ (Osmerod & Silvia, 2017). Το νερό που παραγόταν τροφοδοτούσε στη συνέχεια, μέσω 23 φρεατίων, τον υπόγειο υδροφόρο για την αναπλήρωση των αποθεμάτων σε νερό από τον οποίο στη συνέχεια γινόταν άντληση για χρήση ως πόσιμο νερό (Indirect Potable Use).

Εντούτοις από τη δεκαετία του 1990, είχε αρχίσει να γίνεται εμφανές ότι η δυναμικότητα του εργοστασίου δεν ήταν αρκετή για να καλύψει τις αυξανόμενες ανάγκες σε νερό. Τελικά, το 2008 ξεκίνησε η λειτουργία του GWRS (Groundwater Replenishment System) το οποίο αποτελείται από 5 κύρια στοιχεία (Orange County Water District, 2018) :

- Την προηγμένη εγκατάσταση καθαρισμού νερού (Advanced Water Purification Facility – AWPf), η οποία μπορεί να παράγει περίπου 345000 m³/ημ επαναχρησιμοποιούμενου νερού. Σε αυτήν λειτουργούν μονάδες μικροφίλτρων, αντίστροφης ώσμωσης και υπεριώδους ακτινοβολίας (Εικόνα 2.7.) από τις οποίες διέρχονται το 100 % των εισρεόμενων λυμάτων.
- Το φράγμα διείσδυσης θαλασσινού νερού Talbert το οποίο αποτελείται από μία σειρά από φρεάτια τροφοδότησης (36) τα οποία υποστηρίζονται από ένα εκτενές σύστημα φρεατίων παρατήρησης.
- Τις λεκάνες Kraemer-Miller-Miraloma-La Palma (K-M-M-L).
- Το σύστημα δοκιμαστικής τροφοδότησης λεκάνης (Demonstration Mid-Basin Injection – DMBI) που αποτελείται από ένα φρεάτιο τροφοδοσίας και 2 φρεάτια παρατήρησης και
- Δύο “πελάτες” για μη πόσιμη χρήση του νερού : Το Εργοστάσιο του Anaheim Canyon και το Κέντρο Αστικών Μεταφορών του Anaheim (ARTIC).



Εικόνα 2.7 Το διάγραμμα λειτουργίας της εγκατάστασης καθαρισμού νερού (AWPF) (Πηγή : Orange County Water District, 2018)

Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που παράγεται στην AWWP τροφοδοτείται στο φράγμα Talbert (22%) για την αναπλήρωση των υπόγειων υδάτινων αποθεμάτων ή οδηγείται στις λεκάνες για φιλτράρισμα (72%) ενώ ένα μικρότερο μέρος (3%) τροφοδοτείται στο σύστημα DMBI αλλά και για μη πόσιμη χρήση. Υπολογίζεται ότι με την επέκταση του εργοστασίου η οποία θα είναι έτοιμη το 2023 η δυνατότητα της εγκατάστασης για παραγωγή νερού θα ανέλθει στα 492000 m³/ημ και θα εξυπηρετεί περίπου 1 εκατομμύριο κατοίκους. Η δυναμικότητα της AWWP την κατατάσσει μάλιστα στη πρώτη θέση παγκοσμίως αφού παράγει 4 φορές παραπάνω νερό από την αμέσως επόμενη αντίστοιχη εγκατάσταση καθαρισμού νερού στη Σιγκαπούρη (Osmerod & Silvia, 2017).

2.6 Η περίπτωση της Εξόρυξης Λυμάτων (Sewer Mining)

Στις προηγούμενες ενότητες έγινε εκτενής αναφορά στη σημασία της επαναχρησιμοποίησης Νερού και στις δυνατότητες που προσφέρει ένα τέτοιο μοντέλο. Παρόλα' αυτά μέχρι στιγμής τα παραδείγματα και οι εφαρμογές που παρουσιάστηκαν αφορούσαν την κατασκευή και λειτουργία μονάδων επεξεργασίας νερού σε κεντρική κλίμακα. Το πλεονέκτημα μίας τέτοιας εγκατάστασης είναι η δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλων όγκων νερού για χρήση στην Γεωργία ή στο Βιομηχανικό κλάδο. Από την άλλη πλευρά, κεντρικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας Νερού - Λυμάτων συνήθως βρίσκονται πλησίον των αστικών κέντρων τα οποία πρέπει να εξυπηρετούν, και κατ' επέκταση μακριά από τις περιοχές που θέλουν να επωφεληθούν από το Νερό που παράγεται. Αυτό έχει ως απόρροια να απαιτείται η μεταφορά του επεξεργασμένου προϊόντος στη περιοχή ενδιαφέροντος μέσω της κατασκευής και συντήρησης κατάλληλων συστημάτων τα οποία είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα.

Στη λογική της επί τόπου επαναχρησιμοποίησης Νερού αναπτύχθηκαν αποκεντρωμένες τεχνολογίες που δεν αντιμετωπίζουν τους γεωγραφικούς περιορισμούς των κεντρικών εγκαταστάσεων. Οι μονάδες αυτές, λειτουργούν σε τοπική κλίμακα, αφού λόγω του περιορισμένου μεγέθους τους, να εγκατασταθούν απευθείας στις περιοχές που χρειάζονται το νερό που παράγεται. Με τον τρόπο αυτό ακολουθούν, θεωρητικά, πιο πιστά τις αρχές της Κυκλικής Οικονομίας καθώς ο κύκλος μεταξύ λυμάτων και πόρου (παραγόμενου νερού) κλείνει τοπικά, με αποτέλεσμα τα λύματα να μην είναι απλά ένα "παραπροϊόν" του αστικού κύκλου του νερού με προοπτική επαναχρησιμοποίησης, αλλά να γίνονται τα ίδια ο πόρος, μειώνοντας ταυτόχρονα την ανάγκη για κόστος μεταφοράς τους .

Μία από τις προαναφερθείσες αποκεντρωμένες τεχνολογίες είναι και η περίπτωση της Εξόρυξης Λυμάτων, η οποία τα τελευταία χρόνια αποδεικνύεται ιδιαίτερα δημοφιλής αφού συνδυάζει υψηλής απόδοσης επεξεργασία ενώ απαιτεί περιορισμένο χώρο για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της σε σχέση με παρόμοιες τεχνολογίες (Marleni et al., 2013).

Η λειτουργία μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων συνήθως περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Sydney Water, 2013):

- Εξαγωγή λυμάτων μέσω σύνδεσης με το αποχετευτικό σύστημα πριν ή (σπανιότερα) μετά από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων.
- Μεταφορά των λυμάτων στην αποκεντρωμένη μονάδα επεξεργασίας
- Επεξεργασία των λυμάτων ώστε η τελική ποιότητα να ικανοποιεί τη χρήση για την οποία προορίζεται το προϊόν
- Διανομή του ανακυκλωμένου νερού στο χρήστη και

- Διαχείριση των υπολειπόμενων αποβλήτων (π.χ. λάσπη)

Λόγω του περιορισμένου μεγέθους της εγκατάστασης οι μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων δε χρησιμοποιούν συμβατικές διατάξεις ή μεθόδους επεξεργασίας αλλά βασίζονται σε συμπαγείς, φορητές και προηγμένες εναλλακτικές τεχνολογίες (Plevri et al., 2017). Όσον αφορά τα παραποϊόντα της επεξεργασίας όπως η ιλύς (sludge), υπάρχει η δυνατότητα είτε να επιστρέψουν στο αποχετευτικό σύστημα είτε να αξιοποιηθούν με τη σειρά τους ως πόροι (π.χ. στην παραγωγή λιπασμάτων).

Επιτυχημένα παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου συναντώνται ως επί το πλείστον στην Αυστραλία, με κύριο σκοπό την άρδευση χώρων πρασίνου, αθλητικών εγκαταστάσεων ή ακόμα και σε κατοικίες. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται ορισμένες επιτυχημένες εφαρμογές του Sewer Mining με δυνατότητα επεξεργασίας από 100 έως και άνω των 2000 m³ λυμάτων/ημέρα (Makropoulos et al., 2017).

Πίνακας 2.2 Εφαρμογές του Sewer Mining στην Αυστραλία

Τοποθεσία	Τεχνολογία	Δυναμικότητα	Χρήση	Κόστος
Ιππόδρομος Flemington Μελβούρνη	Διπλή Μεμβράνη, UV	100 m ³ /d	Άρδευση	Εκτιμ. κόστος κεφαλαίου 0.42 \$/m ³ , Λειτουργικό κόστος 0.43 \$/m ³ , Τιμές 2006
Darling Quarter, Σύδνευ	Κινούμενη κλίνη, βιοφίλμ, RO, UV	170 m ³ /d	Νερό τουαλέτας άρδευση, ψύξη πύργων	Κόστος κεφαλαίου 2.2 \$/m ³ Λειτουργικό Κόστος 2.1 \$/m ³ , Τιμές 2011
Πάρκο Riverside Rocks, Σύδνευ	Καλαμιώνες, UV	360 m ³ /d	Άρδευση	Εκτιμ. κόστος κεφαλαίου 0.49 \$/m ³ , Τιμές 2006
Pennant Hills, Βόρειο Σύδνευ	MBR, UV	1000 m ³ /d	Άρδευση γηπέδου γκολφ	Εκτιμ. κόστος κεφαλαίου 0.49 \$/m ³ , Τιμές 2008
Ολυμπιακό Πάρκο Σύδνευ	SBR, θρεπτικά	2191 m ³ /d	Νερό τουαλέτας, Άρδευση	Κόστος 1.05 \$/m ³ , Τιμές 2009 (90 ^η τιμή του πόσιμου νερού)

Στην Ελλάδα λειτουργεί, ήδη από τον Ιανουάριο του 2016, μία πρότυπη μονάδα Sewer Mining στο Κέντρο Ερευνών και Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας (ΚΕΡΕΦΥΤ) της ΕΥΔΑΠ στη περιοχή της Μεταμόρφωσης, Αττικής στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος DESSIN.



Εικόνα 2.8 Η μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων (αριστερά) και η αρδευόμενη περιοχή (δεξιά) στο ΚΕΡΕΦΥΤ (Πηγή : Makropoulos et al., 2017)

Η μονάδα έχει δυνατότητα επεξεργασίας $10 \text{ m}^3/\eta\mu$, τα οποία χρησιμοποιούνται για την άρδευση μίας έκτασης 50 m^2 (Makropoulos et al., 2017).

Όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος, τα λύματα αντλούνται από το τοπικό αποχετευτικό σύστημα και αφού περάσουν από προ επεξεργασία για την αφαίρεση των ευμεγεθών στερεών, στη συνέχεια οδηγούνται μέσω υπερχειλίσσης στη βασική μονάδα επεξεργασίας η οποία αποτελείται από τεχνολογίες μεμβρανών MBR (Membrane Bioreactor) και αντίστροφης ώσμωσης RO (Reverse Osmosis) (Εικόνα 2.9) (Plevri et al., 2017)

Ένα από τα πλεονεκτήματα της μονάδας είναι ότι είναι εφοδιασμένη με αισθητήρες και τεχνολογίες απομακρυσμένης επικοινωνίας με αποτέλεσμα οι μετρήσεις των κρίσιμων παραμέτρων να μεταφορτώνονται απευθείας σε μία ειδικά διαμορφωμένη πλατφόρμα στο διαδίκτυο, από την οποία είναι εφικτό να υπάρχει διαρκής έλεγχος της εγκατάστασης.

Η μονάδα απέδωσε ικανοποιητικά τους πρώτους μήνες λειτουργίας της (Plevri et al., 2017) και το ανακυκλωμένο νερό βρέθηκε να ικανοποιεί πλήρως τις προδιαγραφές που τέθηκαν με την ΚΥΑ 145116/2011 σχετικά με την ποιότητα του Νερού. Στον Πίνακα 2.3. παρουσιάζονται ορισμένες κρίσιμες παράμετροι της εκροής της μονάδας MBR – RO σε σύγκριση με τις επιτρεπόμενες τιμές που επιβάλλει η Ελληνική Νομοθεσία.



Εικόνα 2.9 (α) Η μονάδα MBR και (β) η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης RO (Πηγή: Plevri et al., 2017)

Πίνακας 2.3 Σύγκριση τιμών παραμέτρων για την εκροή της μονάδας MBR-RO με τα επιτρεπτά όρια (Πηγή: Makropoulos et al., 2017)

Παράμετροι	Μέση Τιμή (Τυπική Απόκλιση)		Όρια Νομοθεσίας
	MBR εκροή	RO εκροή	
TSS (mg/L)	<2	<2	≤2
VSS (mg/L)	<2	<2	–
COD (mg/L)	23 (9,53)	<10	–
CODs (mg/L)	29 (10)	<10	–
BOD ₅ (mg/L)	0,9	0,8	≤10
TP (mg/L)	5,9 (1,2)	<0,5	
TN	–	12 (7,8)	≤15
NH ₄ -N ⁺ (mg/L)	0,25 (0,32)	–	≤2
Cl ⁻ (mg/L)	172 (75)	42 (24)	≤100 για άρδευση
Turbidity (NTU)	0,32 (0,1)	–	≤2
Total Coliform (cfu/100 ml)	307 (393)	ND	≤2
Faecal Coliform (cfu/100 ml)	1,09 (1,86)	ND	–
E.Coli (cfu/100 ml)	0,82 (0,98)	ND	≤5

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Είναι όμως δεδομένο ότι εφόσον βρίσκεται ακόμα σε πρωταρχικό στάδιο, οι προκλήσεις που παρουσιάζονται είναι αρκετές και αφορούν διάφορους τομείς.

Τεχνολογικές Προκλήσεις

- Η απαίτηση για περιορισμένο αποτύπωμα της μονάδας, η οποία όμως, σύμφωνα με τους Xie et al. (2013), πρέπει να είναι ικανή να παράγει υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένο νερό αλλά ταυτόχρονα να είναι αρκετά απλή και ανθεκτική για αποκεντρωμένη χρήση. Πλέον, το θέμα αυτό έχει επιλυθεί σε κάποιο βαθμό, αφού κατάλληλες προκατασκευασμένες μονάδες υψηλής απόδοσης έχουν κατασκευαστεί από αρκετές εταιρείες (WPL Environmental Wastewater Solution, 2019).
- Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την εγκατάσταση της μονάδας (Tsoukalas et al., 2017).

Λειτουργικές Προκλήσεις

- Μία μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων θα πρέπει να λειτουργεί με το λιγότερο δυνατό προσωπικό. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο κάθε μονάδα να είναι εξοπλισμένη με αυτοματοποιημένα συστήματα ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο η ανάγκη ανθρώπινης επέμβασης και να είναι δυνατή η απομακρυσμένη διαχείριση της (Makropoulos et al., 2017).

Νομοθετικές Προκλήσεις

- Οι περιορισμοί που τοποθετούνται από τους Δήμους σχετικά με τις επιτρεπτές τοποθεσίες εγκατάστασης των μονάδων εντός του αστικού ιστού διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Περιορισμοί υπάρχουν, επίσης, από τις εταιρείες Διαχείρισης Νερού σχετικά με τις συγκεντρώσεις χημικών και φυσικών παραμέτρων στη ροή που επιστρέφει στο αποχετευτικό σύστημα (Makropoulos et al., 2017).

Κοινωνικές Προκλήσεις

- Η διαχείριση της κοινής γνώμης σχετικά με τη χρήση ανακυκλωμένου νερού. Πρόσφατη έρευνα (Koutiva & Makropoulos, 2016) κατέδειξε ότι η αποδοχή του ανακυκλωμένου νερού αυξάνεται όσο ο τελικός χρήστης απομακρύνεται ενώ με δεδομένο πως οι προδιαγραφές των μονάδων υπακούν τα επιτρεπτά από τη νομοθεσία όρια, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση ότι η αποδοχή του κοινού τουλάχιστον για μη πόσιμες χρήσεις (άρδευση) θα είναι ικανοποιητική.
- Η διαχείριση των ανεπιθύμητων οσμών. Σε μεγάλες μονάδες είναι πιθανή η ανάπτυξη δυσάρεστων οσμών. Είναι σημαντικό πάντως πέρα από την προσπάθεια μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων μίας τέτοιας εγκατάστασης (στο βαθμό που είναι εφικτό) να υπερτονίζονται στο κοινό οι θετικές επιδράσεις που αποφέρει (Castro et al., 2011).

Επιχειρησιακές Προκλήσεις

- Ανάγκη δημιουργίας ενός λειτουργικού επιχειρησιακού μοντέλου το οποίο θα μπορεί να είναι κερδοφόρο για τον διαχειριστή. Όσον αφορά, τις μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις δύο μοντέλα είναι επικρατέστερα α) η πλήρη διαχείριση της μονάδας από την εκάστοτε Εταιρεία Νερού (π.χ. ΕΥΔΑΠ) ή β) η ιδιωτικοποίηση της παροχής της υπηρεσίας ενώ η Εταιρεία Νερού διατηρεί την ιδιοκτησία και διαχείριση των συστημάτων τα οποία νοικιάζει έναντι κάποιου συμφωνημένου ποσού (Makropoulos et al., 2017). Σύμφωνα με τους Plevni et al. (2017), μία αρχική εκτίμηση του κόστους της μονάδας MBR – RO είναι 0.86 €/ m³, ενώ για μονάδα MBR – UV το κόστος φτάνει τα 1.07€/ m³.

2.7 Χρήση μοντέλων για την προσομοίωση του κύκλου του νερού

Η ανάλυση που προηγήθηκε στις προηγούμενες ενότητες οδηγεί στο συμπέρασμα πως η βιώσιμη χρησιμοποίηση του νερού είναι μονόδρομος, προκειμένου μην παρατηρηθεί ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των αποθεμάτων. Για αστικές περιοχές, η σημασία του νερού δεν είναι δυνατόν να υπερεκτιμηθεί. Η διαχείριση του αποτελεί πρόκληση τόσο σε όρους βιωσιμότητας αλλά και διοίκησης, γιατί στις πόλεις οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται σε σύντομα χρονικά πλαίσια και να ικανοποιούν τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές, υγειονομικές και οικονομικές απαιτήσεις (Pena-Guzman et al., 2017).

Ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία για την λήψη αποφάσεων σχετικά με τη σωστή διαχείριση του νερού είναι υπολογιστικά μοντέλα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προσομοιώνουν τον Αστικό Κύκλο του νερού (Urban Water Cycle - UWC). Τα πρώτα μοντέλα, που αναπτύχθηκαν περίπου πριν δύο δεκαετίες, χρησιμοποιήθηκαν ως επί το πλείστον για την κατανόηση των συμπεριφορών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των αστικών συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας ομβρίων και των υδάτινων σωμάτων. Στη συνέχεια, τα μοντέλα επεκτάθηκαν ώστε να περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης βρόχινου νερού (Bach et al., 2014), ενώ πιο πρόσφατα η προσπάθεια των ερευνητών επικεντρώθηκε στη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διάφορων στοιχείων που απαρτίζουν τον αστικό κύκλο του νερού (Schultze et al., 2011). Σύμφωνα με τους Mitchel et al. (Mitchell et al., 2007), υπάρχουν πάνω από 65 εμπορικά και ελεύθερα προγράμματα στην αγορά που βασίζονται πλήρως ή μερικώς σε στοιχεία του αστικού κύκλου νερού. Τα μοντέλα αυτά διακρίνονται σε 4 μεγάλες κατηγορίες με βάση το βαθμό της ενσωμάτωσης των στοιχείων του κύκλου:

- Μοντέλα βασισμένα σε στοιχεία (Integrated Component-based Models),
- Μοντέλα Αστικής Απορροής (Integrated Urban Drainage Models - IUDMs) ή Μοντέλα Αστικής Ζήτησης Νερού (Integrated Water Supply Models - IWSMs),
- Μοντέλα Αστικού Κύκλου Νερού (Integrated Urban Water Cycle Models – IUWCMs) και
- Μοντέλα Αστικών Συστημάτων Νερού (Integrated Urban Water System Models – IUWSMs)

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται μερικά από τα μοντέλα και τα κύρια χαρακτηριστικά τους:

Πίνακας 2.4 Προγράμματα Προσομοίωσης του Αστικού Κύκλου του Νερού (Πηγή: *Pena-Guzman et al., 2017*)

Πρόγραμμα	Τύπος	Οργανισμός	Χώρα	Τύπος Προσομοίωσης ¹	Πηγή Λογισμικού
Aquacycle	IUWCMs	CRCCH ²	Αυστραλία	Y	www.toolkit.net.au
Mike Urban	IUWCMs	DHI ³	Δανία	Y, YΔ, YB, Π	www.mikepoweredbydhi.com
UWOT	IUWCMs	NTUA ⁴	Ελλάδα	Y, YB, Π	www.watershare.eu
WaterMet2	IUWCMs	University of Exeter & NTUA	Hv. Βασίλειο και Ελλάδα	Y, YB, Π	www.emps.exeter.ac.uk
WaterCress	IUWCMs	Clark & Cresswell	Αυστραλία	Y, YΔ, YB, Π	www.watersselect.com.au
WaND-OT1	IUWCMs	University of Exeter	Hv. Βασίλειο	Y, YB	-

Το μοντέλο *Aquacycle* προσομοιώνει τις ισορροπίες ανάμεσα στην αστική ζήτηση νερού, την υδρολογία του αστικού κύκλου νερού (εξατμισοδιαπνοή και βροχόπτωση) και τη ροή των λυμάτων μίας πόλης μέσω βρόγχων που περιγράφουν το σύνολο του συστήματος σε ημερήσια βάση (Pena-Guzman et al., 2017).

Το *Mike Urban* προσομοιώνει παράλληλα (και ανεξάρτητα) τις ροές του κύκλου που αφορούν την αστική ζήτηση νερού, την απορροή του βρόχινου νερού και την αποχέτευση των λυμάτων χρησιμοποιώντας ένα μονοδιάστατο μοντέλο για την προσομοίωση της αποχέτευσης σε συνδυασμό με ένα δισδιάστατο μοντέλο για την υπέργεια ροή (Sitzenfrei & Rauch, 2016).

Το μοντέλο *WaterMet2* ποσοτικοποιεί τον μεταβολισμό του Αστικού Κύκλου Νερού μέσω 4 υποσυστημάτων: 1) Αποθέματα νερού (πηγές, επεξεργασία και τροφοδότηση), 2) Ζήτηση νερού (κατανάλωση και χρήσεις νερού), 3) υγρά απόβλητα (χωριστικά και συνδυαστικά συστήματα και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων) και 4) επεξεργασία νερού (σε τοπική ή κεντρική κλίμακα) (Pena-Guzman et al., 2017).

Το *WaterCress* μοντέλο βασίζεται στην έννοια των κόμβων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύουν τις διαδικασίες, διεργασίες και υποδομή του Αστικού Κύκλου Νερού. Κάθε κόμβος διαθέτει ανεξάρτητη βάση δεδομένων με ποσοτικές και ποιοτικές παραμέτρους (Paton et al., 2014) και συνδέεται με άλλους μέσω διαφορετικών ροών.

Το μοντέλο *WaND-OT1*, χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της ζήτησης πόσιμου νερού, του δικτύου ύδρευσης, των λυμάτων και της απορροής ενώ τέλος το UWOT, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αναπτύχθηκε ως πρόταση για τη βελτίωση του WaND – OT1 και περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

¹ Y = Υδρολογική, YΔ = Υδραυλική, YB = Υβριδικά στοιχεία, Π = Ποιοτική

² Cooperative Research Center OF Catchment Hydrology

³ Danish Hydraulic Institute

⁴ National Technical University of Athens

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΗ ΡΟΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ UWOT

Σε συνέχεια της τελευταίας ενότητας του προηγούμενου κεφαλαίου, σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το μοντέλο UWOT, ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό του ολοκληρωμένου αστικού κύκλου Νερού και έχει στόχο να συμβάλλει στη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, ενόψει των προκλήσεων που θα προκύψουν τα επόμενα χρόνια.

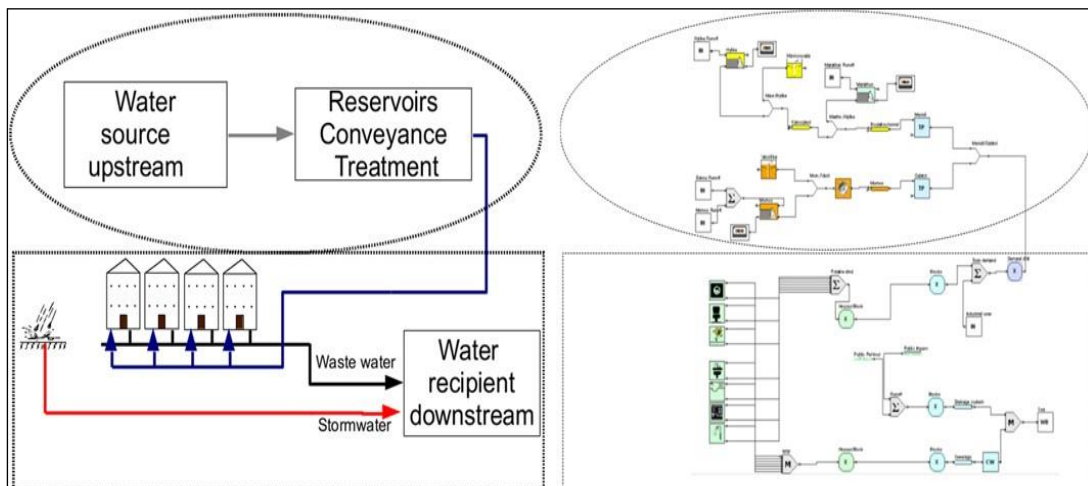
3.1 Περιγραφή Uwat και Προηγούμενες Εφαρμογές του

3.1.1 Γενικές πληροφορίες

Το UWOT (Urban Water Optioneering Tool) προσομοιώνει τη ροή του νερού σε αστικό περιβάλλον μέσω της μοντελοποίησης των επιμέρους χρήσεων του νερού αλλά και των τεχνολογιών διαχείρισης του και αξιολογώντας τις συνδυασμένες επιδράσεις τους σε διάφορα επίπεδα με τη χρήση παραμέτρων απόδοσης (Makropoulos, 2014). Έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει τόσο “συμβατικές” ροές του αστικού νερού (πόσιμο νερό, λύματα και απορροή) όσο και συνδυασμένες επεμβάσεις όπως για παράδειγμα επαναχρησιμοποίηση οικιακών λυμάτων (greywater) αλλά και συλλογή βρόχινου νερού (Makropoulos, 2014).

Αλλα μοντέλα αστικού κύκλου νερού χρησιμοποιούν συχνά μεθοδολογία βασισμένη στην υδραυλική του συστήματος, εντούτοις το UWOT προσομοιώνει τις ροές του νερού βασισμένο στη γέννηση και τη μετάδοση ενός σήματος ζήτησης (Demand Signal), το οποίο ξεκινάει από το μεμονωμένο σπίτι και φτάνει μέχρι την πηγή (Rozos & Makropoulos, 2012). Κατ’ επέκταση μέσω του μοντέλου είναι εφικτή η προσομοίωση ολόκληρου του αστικού κύκλου του νερού από την πηγή μέχρι τη βρύση (Rozos & Makropoulos, 2013).

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ένας πλήρης αστικός κύκλος νερού : στα αριστερά είναι μία απλουστευμένη σχηματική απεικόνιση του ενώ στα δεξιά η προσομοίωση του στα πλαίσια του UWOT.



Σχήμα 3.1 Η προσομοίωση του αστικού κύκλου του νερού μέσω του UWOT (Πηγή: Rozos & Makropoulos , 2013)

Το νερό συλλέγεται από τις πηγές και μέσω ενός συστήματος μεταφοράς φτάνει στην εγκατάσταση επεξεργασίας από όπου μέσω του συστήματος διανομής καταλήγει στους τελικούς χρήστες. Τα λύματα από την πόλη αλλά και το νερό της βροχής που συλλέγεται,

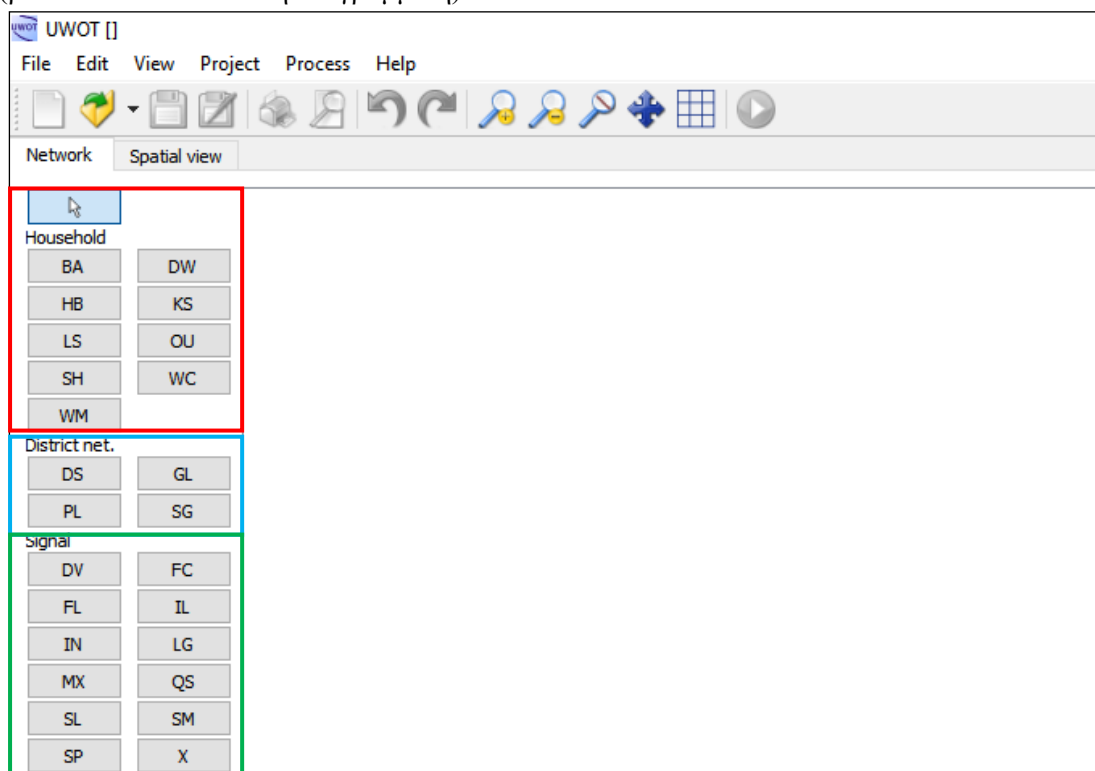
οδηγούνται στο αποχετευτικό σύστημα και ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία αποτίθενται σε κάποιο υδάτινο σώμα κατάντη. Στην προσομοίωση του UWOT η έλλειψη του πάνω μέρους συμπεριλαμβάνει τη συλλογή, τη μεταφορά και την επεξεργασία του νερού (το εξωτερικό υδάτινο σύστημα), ενώ στο κάτω μέρος φαίνονται η παραγωγή της ζήτησης αλλά και η επεξεργασία των λυμάτων και του νερού της βροχής ώστε να καταλήξουν στον τελικό υδάτινο αποδέκτη (το εσωτερικό υδάτινο σύστημα).

3.1.2 Η προσομοίωση των συστημάτων νερού στο UWOT

Στο UWOT τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη προσομοίωση ενός πλήρους αστικού συστήματος νερού διακρίνονται σε 5 βασικές κατηγορίες :

- Οικιακές Συσκευές - Household appliances

Σε αυτή τη κατηγορία περιλαμβάνονται οι τυπικές συσκευές μίας κατοικίας που καταναλώνουν νερό όπως πλυντήριο πιάτων (Dishwasher - DW) ή ρούχων (Washing Machine - WM), νιπτήρες μάνιου (Handbasin - HB) ή κουζίνας (Kitchen sink - KS), μπανιέρα (Bath - BA), ντουζιέρα (Shower - SH), τουαλέτα (WC) αλλά και εξωτερικές χρήσεις (π.χ. για κήπο) (Outside Uses – OU). Επίσης, σε αυτή τη κατηγορία υπάρχουν και στοιχεία που έχουν να κάνουν με την τοπική διαχείριση και επεξεργασία νερού όπως το τοπικό σύστημα συλλογής και επεξεργασίας “γκρίζου νερού” για παραγωγή ανακυκλωμένου νερού (Local SUDS – LS) (βλ. Εικόνα 3.1 Κόκκινη Διαγράμμιση).



Εικόνα 3.1 Στιγμιότυπο του περιβάλλοντος εργασίας του UWOT

- Το τοπικό δίκτυο (District Network)

Αναφέρεται στα στοιχεία που περιγράφουν τις υποδομές του συστήματος νερού σε επίπεδο περιοχής (γειτονιάς). Αυτά είναι το σύστημα συλλογής νερού βροχής (Storm Drain – DS), το σύστημα που συλλέγει το “γκρίζο νερό” (Grey water line – GL), το σύστημα διανομής

πόσιμου νερού (Potable Distribution – PL), και το σύστημα συλλογής των λυμάτων (Sewage Collection - SC) (βλ. Εικόνα 3.1 Γαλάζια Διαγράμμιση).

- Τα σήματα (Signals)

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που συγκεντρώνουν και οδηγούν τα σήματα μέσα στο σύστημα. Τα πιο κοινά είναι τα στοιχεία Πρόσθεσης (Summation – SM) και μίξης (Mix – MX). Το πρώτο αντιπροσωπεύει σωλήνες τύπου T και (στους οποίους συγκεντρώνονται παραπάνω από μία έξοδο των συσκευών), ενώ το δεύτερο χρησιμοποιείται για να δείξει αλλαγές στην ροή του νερού (διασταυρώσεις ή συμβολές). Ένα σημαντικό στοιχείο της κατηγορίας αυτή είναι οι εντολές IN και FL οι οποίες επιτρέπουν να εισαχθούν στο πρόγραμμα εξωτερικά δεδομένα χρονοσειρών (π.χ. χρονοσειρές βροχόπτωσης ή ζήτησης με την πρώτη και ποιότητας λυμάτων με τη δεύτερη). Ιδιαίτερα χρήσιμο είναι επίσης και το στοιχείο LG (Logger) το οποίο καταγράφει σήματα που αφορούν το στοιχείο στο οποίο συνδέεται. Τέλος, το στοιχείο Splitter (SP) έχει τη δυνατότητα να δεχτεί ένα σήμα ζήτησης και να το χωρίσει σε 2 νέα σήματα ανάλογα με ποσοστό που επιθυμεί ο χρήστης. (βλ. Εικόνα 3.1 Πράσινη Διαγράμμιση).

Signal	
DV	FC
FL	IL
IN	LG
MX	QS
SL	SM
SP	X
Hydrosystem	
AQ	CG
CR	CS
CW	DT
GW	IM
MN	PM
PT	PV
RS	SW
TN	TP
WB	WP
Energy-Water nexus	
BG	HD
NR	PA
RN	WN

Εικόνα 3.2 Στιγμιότυπο (2) του περιβάλλοντος εργασίας του UWOT

- Υδροσύστημα (Hydrosystem)

Αποτελείται από όλα εκείνα τα στοιχεία που μεταφέρουν, επεξεργάζονται και αποθηκεύουν νερό. Κάποια στοιχεία αυτής της κατηγορίας προσομοιώνουν φυσικές διεργασίες όπως την διαπερατότητα ή μη μίας επιφάνειας για την απορροή του νερού (Pervious – PV, Impervious-IM), τους επιφανειακούς υδατικούς πόρους μίας λίμνης (Surface Water -SW). Σε αυτή τη κατηγορία περιγράφονται επίσης και τεχνητά υδροσυστήματα τα οποία μπορεί να αναφέρονται είτε σε μικρή κλίμακα (π.χ. διαπερατές και αδιαπερατές ζώνες ενός σπιτιού ή μίας περιοχής) είτε σε μεγάλη κλίμακα όπως κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (Centralized Wasterwater - CW), κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας/διαχείρισης βρόχινου νερού (Centralizes Rainwater CR) και κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας “γκρίζου νερού”

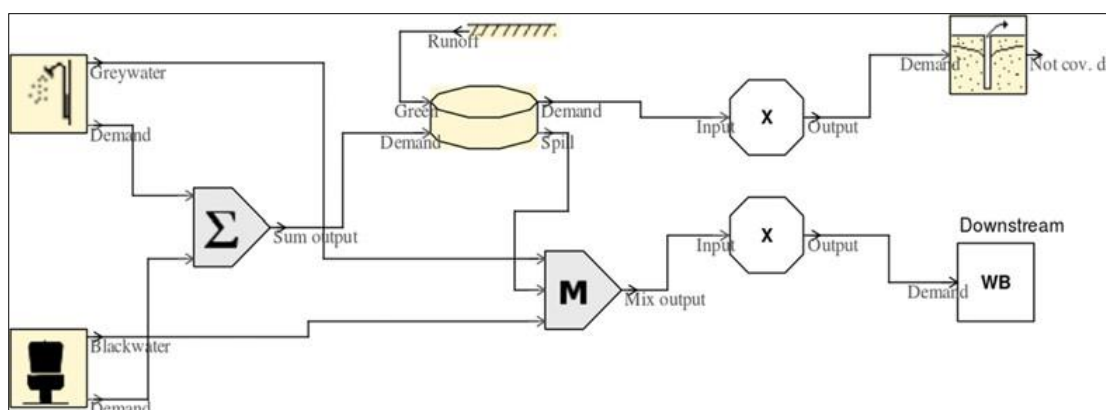
(Centralized Greywater – CG) αλλά και μονάδα Sewer Mining (SM) (βλ. Εικόνα 3.2 Μπλε Διαγράμμιση).

- Ενέργεια

Σε αυτή τη κατηγορία υπάρχουν στοιχεία που συνδέονται με το σύμπλεγμα Ενέργειας – Νερού (Energy - Water Nexus) με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το στοιχείο που προσομοιώνει τη λειτουργία μίας Υδρο-Τουρμπίνας (Hydro Turbine – HD), το στοιχείο Renewable Component (RN) για τη προσομοίωση της λειτουργίας αντλιών νερού μέσω τουρμπινών αέρα) αλλά και το στοιχείο Solar Panel (PA) για τον υπολογισμό της ενέργειας που παράγεται από τη χρήση ηλιακών πανέλων (βλ. Εικόνα 3.2 Πορτοκαλί Διαγράμμιση).

- Το UWOT μέσα από ένα παράδειγμα

Για να εξηγηθεί η λειτουργία του UWOT δίνεται ένα υποθετικό σύστημα νερού όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2 (Makropoulos , 2014).



Σχήμα 3.2 Ένα απλό παράδειγμα προσομοίωσης ενός συστήματος νερού στο UWOT (Πηγή: Makropoulos, 2014)

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ένα σπίτι έχει δύο συσκευές που καταναλώνουν νερό: μία ντουζιέρα και μία τουαλέτα. Η ζήτηση νερού, καλύπτεται από βρόχινο νερό (Runoff) το οποίο συλλέγεται σε μία δεξαμενή. Το σήμα της ζήτησης “φεύγει” από τις δύο συσκευές και ενώνεται στο στοιχείο της πρόσθεσης, που συμβολίζεται με το γράμμα Σ, ώστε να το συνδυασμένο σήμα να δοθεί ως δεδομένο εισαγωγής στην δεξαμενή.

Γενικά, τα σήματα ζήτησης έχουν δύο χαρακτηριστικές τιμές : την ποσότητα της ζήτησης, που δίνεται σε L/dt (όπου dt είναι το βήμα προσομοίωσης), και την ποιότητα του νερού (με βάση τη συγκέντρωση του BOD σε mg/L).

Η δεξαμενή τροφοδοτείται από νερό που απορρέει από τις αδιαπέρατες περιοχές του σπιτιού (π.χ. στέγη). Για τον υπολογισμό της παροχής, δύναται να εισαχθεί χρονοσειρά βροχοπτώσεων ή να δοθεί ένα σταθερός αριθμός ως δεδομένο εισαγωγής. Το UWOT στη συνέχεια υπολογίζει σε κάθε χρονικό βήμα την ισορροπία μάζας νερού μέσα στη δεξαμενή. Κάθε φορά που η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα της δεξαμενής (που μπορεί να την καθορίσει ο χρήστης), η δεξαμενή υπερχειλίζει (Spill). Έτσι, το νερό που χύνεται αναμιγνύεται μαζί με το νερό που χρησιμοποιείται στη ντουζιέρα (Greywater) και την τουαλέτα (Blackwater) μέσω του στοιχείου Mix (M) και καταλήγει σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη κατάντη (Water body) .

Όταν το νερό που υπάρχει μέσα στη δεξαμενή φτάσει το κατώτατο επίπεδο, αυτή στέλνει ένα σήμα ζήτησης πόσιμου νερού προς το κεντρικό σύστημα, το οποίο στη περίπτωση του παραδείγματος, αντελεί νερό από μία γεώτρηση (στοιχείο Ground Water) (Makropoulos, 2014). Τέλος, τα οκταγωνικά στοιχεία του σχήματος (χαρακτηρισμένα με ένα X στη μέση) χρησιμοποιούνται για να πολλαπλασιάσουν το σήμα που εκπέμπεται από ένα σπίτι επί τον αριθμό των πανομοιότυπων σπιτιών του προσομοιωμένου περιβάλλοντος. Αυτό το στοιχείο δίνει τη δυνατότητα με το σχεδιασμό ενός τοπικού συστήματος να προκύψουν τελικά πολλά τοπικά συστήματα (σπίτια) που απαρτίζουν ένα ευρύτερο σύστημα (π.χ. μία γειτονιά ή μία πόλη) (Upscaling) (Rozos & Makropoulos, 2013).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του UWOT είναι πως επειδή είναι βασισμένο στη ζήτηση, η κατεύθυνση των συνδέσεων δεν συνάδει πάντοτε με την πραγματική ροή του νερού στο σύστημα. Στο Σχήμα 3.2, φαίνεται ότι η σύνδεση μεταξύ των συσκευών και της δεξαμενής είναι αντίθετη κατεύθυνσης από την ροή που προσομοιώνουν. Στο παράδειγμα, το σήμα ξεκινάει από τις συσκευές και καταλήγει στη δεξαμενή (βλ. κατεύθυνση βέλους) ενώ πραγματικότητα το νερό τροφοδοτείται από τη δεξαμενή προς τις συσκευές. Γενικά, όλες οι συνδέσεις καθαρού νερού δείχνονται με βέλη αντίθετα της ροής αφού, ενώ όλες οι συνδέσεις λυμάτων δείχνονται με βέλη ίδιας κατεύθυνσης με την ροή. Με άλλα λόγια, στο UWOT, το καθαρό νερό απαιτείται (σήμα pull), ενώ τα λύματα παράγονται (σήμα push) (Rozos & Makropoulos, 2013).

Πέρα από την ποσότητα των ροών, το UWOT δύναται να κάνει και μία εκτίμηση της ποιότητας τους. Σε κάθε σύνδεση η οποία έχει την ίδια κατεύθυνση με την πραγματική ροή ανατίθεται μία τιμή (ή εισάγεται μία χρονοσειρά μετρήσεων) για τη συγκέντρωση του BOD (BAO – Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο). Στην περίπτωση πολλών συνδέσεων αυτές συγκεντρώνονται στο στοιχείο Mix το οποίο υποθέτει άμεση και πλήρη μίξη.

Αντίθετα, για τα σήματα ζήτησης στο BOD δίνεται αυτόματα η τιμή -1 αφού το UWOT υποθέτει ότι το νερό που παρέχεται ικανοποιεί πάντοτε τα επιτρεπόμενα όρια ποιότητας που ορίζονται από τους Κανονισμούς. Πολλαπλά σήματα ζήτησης συνδεούνται μεταξύ τους μέσω του στοιχείου Summation (Σ) το οποίο κάνει ποσοτική πρόσθεση αλλά το BOD παραμένει και μετά τη σύνδεση στο -1.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως το UWOT παρέχει στο χρήστη μία βάση δεδομένων ή “technology library” στην οποία παρέχονται πληροφορίες απαραίτητες για την προσομοίωση όπως η κατανάλωση νερού/ενέργειας από τα επιμέρους στοιχεία αλλά και οικονομικά μεγέθη όπως το αρχικό και το λειτουργικό κόστος μίας συσκευής ή εγκατάστασης. Υπάρχει η δυνατότητα πέρα από την χρήση των προεπιλεγμένων χαρακτηριστικών να δημιουργήσει ο χρήστης δικά του ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των συσκευών ή των συστημάτων που θέλει να εισάγει στο μοντέλο του. Στην Εικόνα 3.3 φαίνεται το παράθυρο που παρουσιάζει το μοντέλο όταν επιλεγεί μία συσκευή από το χρήστη, στο οποίο δίνονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά της.

no	Descr	i	j	value	unit
1	Water Usage/ca...	1	1	1.7	L/use
2	Energy Use	1	1	0.02	kWh/use
3	Capital Cost	1	1	0	
4	Operational Cost	1	1	0	
5	Output Quality	1	1	121.8	mg/L
6	Cap.cost date	1	1	1.262304e...	s
7	Op.cost date	1	1	1.262304e...	s

Εικόνα 3.3 Καρτέλα με τα χαρακτηριστικά μεγέθη μίας συσκευής στο UWOT

3.1.3 Προηγούμενες εφαρμογές του UWOT

Εφαρμογή 1

Το UWOT χρησιμοποιήθηκε στην εργασία των Rozos & Makropoulos (2010) για την αξιολόγηση των συνδυασμένων οφελών από την χρήση τεχνολογιών ανακύκλωσης νερού μέσω της προσομοίωσης του αστικού κύκλου του Νερού. Στα πλαίσια αυτής, έγινε η υπόθεση ότι σε μία περιοχή θα υπάρξουν δύο νέα έργα (εξελίξεις), ένα με χαμηλή αστική πυκνότητα και ένα με υψηλή αστική πυκνότητα (L και H αντίστοιχα στην εργασία). Τα σπίτια της κάθε περίπτωσης θεωρήθηκαν πανομοιότυπα ενώ η συνολική έκταση της επέμβασης ήταν 126 εκτάρια (68 εκτάρια για κατοικίες και 58 εκτάρια για δημόσιους χώρους).

Πίνακας 3.1 Στοιχεία των επεμβάσεων υψηλής και χαμηλής πυκνότητας (Πηγή : Rozos & Makropoulos, 2010)

	Έπμβαση H	Έπμβαση L
Ποσοστό κτίσματος/διαθέσιμης έκτασης	0,47	0,24
Αριθμός κατοικιών	2000	1000
Δημόσιοι χώροι (διαπερατοί)	16 εκτ.	32 εκτ.
Δημόσιοι χώροι (αδιαπερατοί)	42 εκτ.	26 εκτ.

Η εξεταζόμενη επέμβαση περιλαμβάνει μία κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας νερού καθώς και ένα σύστημα για τη βιώσιμη αποχέτευση του νερού (SUDS – Sustainable Urban Water Drainage Systems), με σκοπό να μειωθεί η ζήτηση πόσιμου νερού και να περιοριστούν τόσο η μέγιστη τιμή όσο και ο όγκος των παραγόμενων απορροών (Rozos & Makropoulos, 2010).

Κάθε κατοικία διαθέτει μία δεξαμενή αποθήκευσης του συλλεγμένου βρόχινου νερού και του επεξεργασμένου νερού τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο για τα πλυντήρια και την τουαλέτα. Σύμφωνα με το σχεδιασμό του μοντέλου το νερό από την επεξεργασία

τροφοδοτείται μόνο όταν ο όγκος του νερού στη δεξαμενή πέσει κάτω από κάποια επιτρεπτά όρια. Για την προσομοίωση έχει ληφθεί υπόψη η ημερήσια διακύμανση της ζήτησης και έχει θεωρηθεί ότι σε κάθε κατοικία κατοικούν 4 άνθρωποι.

Τα δεδομένα βροχόπτωσης (χρονοσειρές με βήμα 10 λεπτών), λήφθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην Αθήνα. Στη συνέχεια μέσω του προγράμματος ZYGOS (Zygos, 2008) παράχθηκαν 3 χρονοσειρές “παρατηρημένης απορροής” για τα εξής σενάρια : χωρίς επέμβαση, με επέμβαση τύπου L και με επέμβαση τύπου H. Μέσω του UWOT έγινε η προσομοίωση για τα δύο σενάρια επέμβασης και στη συνέχεια τα αποτελέσματα της συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα “παρατηρημένα” ώστε να γίνει η βαθμονόμηση των παραμέτρων K (χωρητικότητα δεξαμενής) και μ (συντελεστής μείωσης της οπής).

Η χωρητικότητα των οικιακών δεξαμενών και η χωρητικότητα του SUDS και της εγκατάστασης επεξεργασίας βελτιστοποιήθηκαν μέσω του αλγόριθμου NSGA-II με σκοπό : α) να προκύπτει απορροή παρόμοια με εκείνης πριν την επέμβαση στην υποθετική τοποθεσία και β) να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό η ζήτηση πόσιμου νερού. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις επεμβάσεις υψηλής και χαμηλής πυκνότητας (Πηγή : Rozos & Makropoulos, 2010)

	Συμβατική Επέμβαση H	Βελτιστοποιημένη Επέμβαση H	Συμβατική Επέμβαση L	Βελτιστοποιημένη Επέμβαση L
Μέγιστη Απορροή (m³/s)	3,26	1,12	2,38	1,09
Ζήτηση νερού (m³/d)	1116	834	563	413

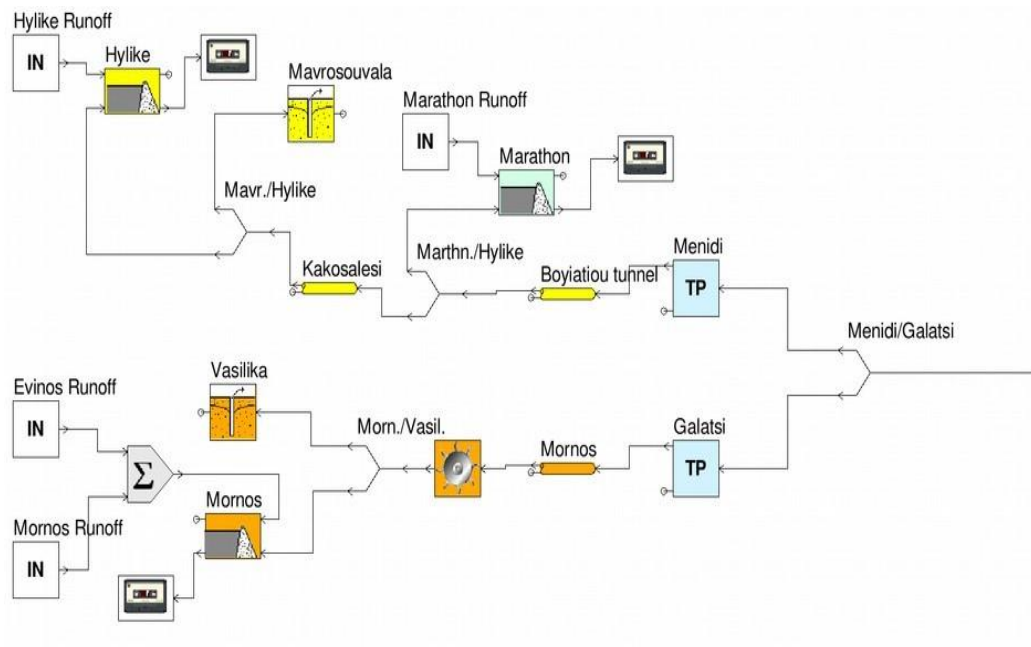
Τα συμπεράσματα της εργασίας ήταν πως : i) οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις με τις νέες επεμβάσεις ήταν μεγαλύτερες στην περίπτωση της επέμβασης μεγαλύτερης πυκνότητας, ii) Σε συστήματα ανακύκλωσης νερού, η αποδοτικότητα των συσκευών που χρησιμοποιούν το νερό επηρεάζει σημαντικό την παραγόμενη απορροή και iii) με βάση τα παραπάνω παρατηρείται η ανάγκη ολοκληρωμένης προσομοίωσης τόσο για το σχεδιασμό νέων επεμβάσεων όσο και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων τους στο αστικό κύκλο Νερού.

Εφαρμογή 2

Η ικανότητα του UWOT επιδεικνύεται μέσω της προσομοίωσης του συστήματος νερού της πόλης της Αθήνας, η οποία παρουσιάζεται στη δημοσίευση των Rozos E. & Makropoulos C. (2013) με τίτλο “Source to tap Urban Water Cycle Modelling”.

Στα πλαίσια της εργασίας τους δημιούργησαν το εξωτερικό σύστημα ύδρευσης της Αθήνας, το οποίο είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο αφού καλύπτει επιφάνεια περίπου 4000 km² ενώ περιλαμβάνει τόσο επιφανειακές όσο και υπόγειες πηγές νερού. Το σύστημα αποτελείται από 4 ταμιευτήρες, 4 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, 350 km κύριων σωληνώσεων, 15 σταθμού άντλησης νερού και 100 γεωτρήσεις (Kozanis et al., 2012).

Στο παρακάτω Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται το μοντέλο του εξωτερικού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας στο UWOT. Σε αυτό διακρίνονται 2 κύριες ροές. Στην πρώτη ροή (επάνω μέρος του σχήματος) το νερό μεταφέρεται από τη φυσική λίμνη της Υλίκης, τις γεωτρήσεις στη Μαυροσουβάλα και τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα μέχρι την εγκατάσταση επεξεργασίας στο Μενίδι ενώ στη δεύτερη ροή (κάτω μέρος του σχήματος) παρουσιάζεται η διαδρομή του νερού από τον ταμιευτήρα του Μόρνου και τις γεωτρήσεις των Βασιλικών μέχρι την αντίστοιχη εγκατάσταση στο Γαλάτσι.





Σχήμα 3.3 Το μοντέλο του εξωτερικού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας στο UWOT (Πηγή: Rozos & Makropoulos, 2013)


Λόγω της πολυπλοκότητας του πραγματικού συστήματος στα πλαίσια του UWOT έγιναν κάποιες απλοποιήσεις:


- Ο ταμιευτήρας του Ευήνου (ο οποίος έχει μικρή χωρητικότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους) παραλείφθηκε. Αντί αυτού η απορροή της λεκάνης απορροής του Ευήνου προστέθηκε στην απορροή της λεκάνης απορροής του Μόρνου και η χωρητικότητα του στοιχείου που αντιπροσωπεύει το Μόρνο αυξήθηκε για να συμπεριλάβει και τη χωρητικότητα του Ευήνου.
- Στο μοντέλο συμπεριελήφθησαν μόνο οι δύο μεγαλύτερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας Νερού (Γαλάτσι και Μενίδι).
- Αγνοήθηκαν βρόγχοι του συστήματος που δεν είναι κύριοι (π.χ. εναλλακτικές διαδρομές σε περίπτωση αστοχίας του κεντρικού συστήματος).


Για την προσομοίωση του UWOT χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία :


 Το στοιχείο (IN) το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των χρονοσειρών ζήτησης στο μοντέλο.


 Το στοιχείο (RS) το οποίο προσομοιώνει τους ταμιευτήρες

 Το στοιχείο Logger (LG) που στο μοντέλο φαίνεται σαν ταινία με σκοπό να καταγράφει τα δεδομένα υπερχειλίσης από τους ταμιευτήρες.

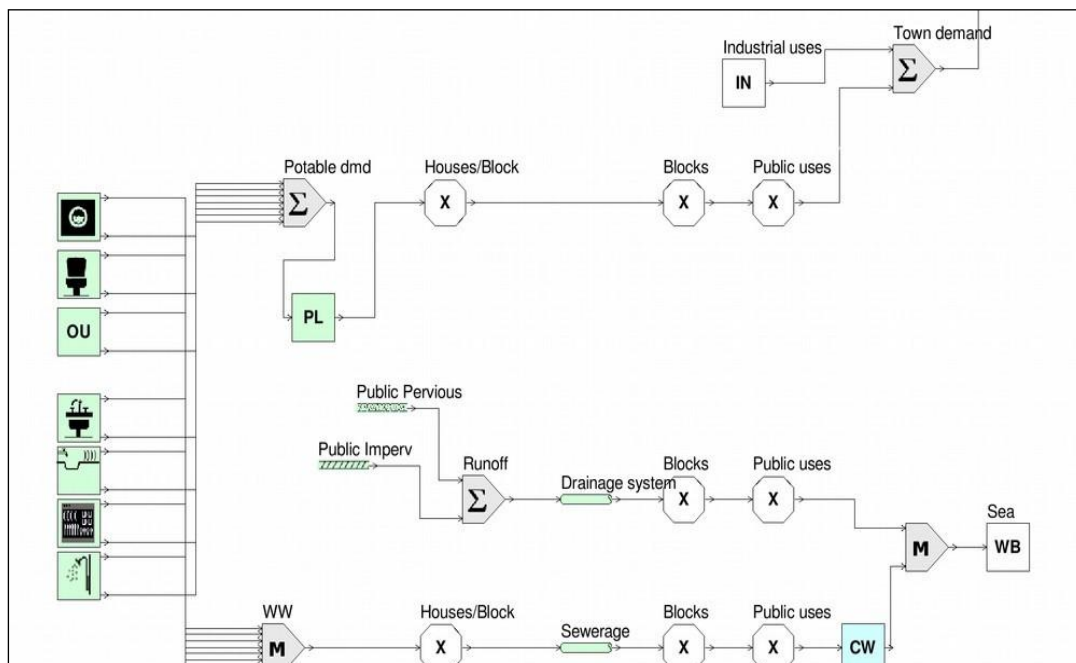
 Το μακρόστενο κυλινδρικό στοιχείο προσομοιώνει τα κανάλια νερού.

 Οι Υδρο-τουρμπίνες του συστήματος. Η ενέργεια που παράγεται εκτιμάται υπολογίζοντας την εισερχόμενη ζήτηση επί την ενέργεια ανά μονάδα όγκου.

 Το στοιχείο TP προσομοιώνει τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας Νερού.

 Το στοιχείο (SP) το οποίο διαχωρίζει τις διαδρομές του νερού

Αντίστοιχα με τα παραπάνω έγινε η προσομοίωση του εσωτερικού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας (Σχήμα 3.4).



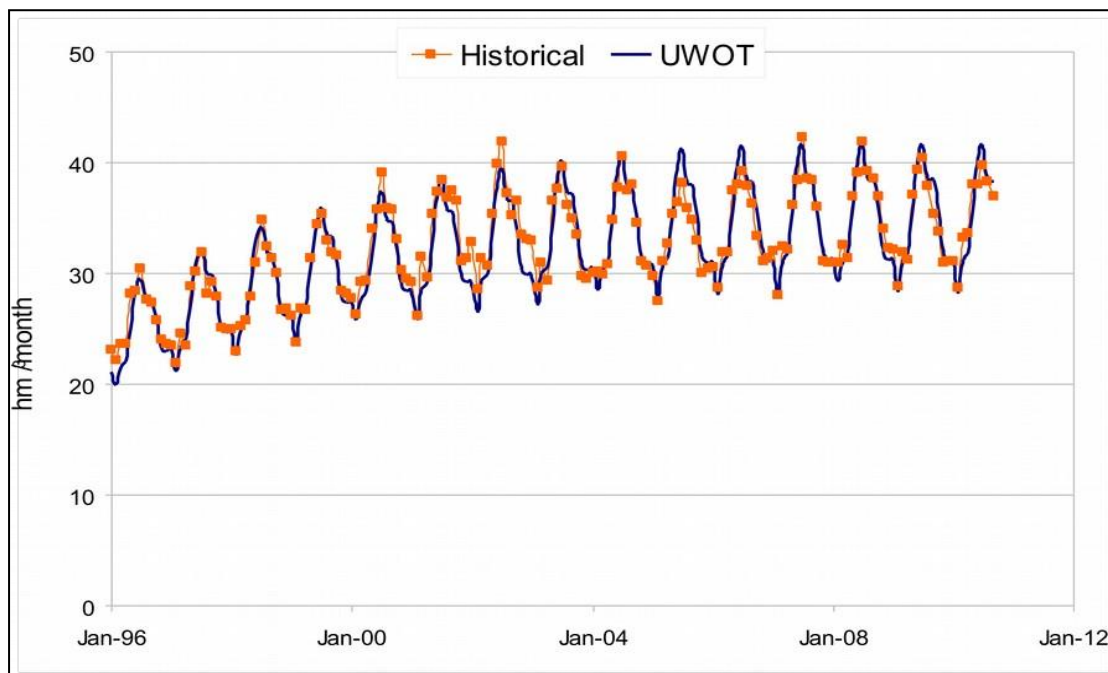
Σχήμα 3.4 Το μοντέλο του εσωτερικού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας στο UWOT (Πηγή: Rozos & Makropoulos, 2013)

Για τον υπολογισμό της ζήτησης κάθε κατοικίας (στη συγκεκριμένη εργασία θεωρούνται όλες οι κατοικίες πανομοιότυπες για χάριν απλοποίησης) πολλαπλασιάζεται η μέση κατανάλωση της κάθε οικιακής συσκευής επί την συχνότητα χρήσης της. Όπως φαίνεται στο σχήμα οι επιμέρους ζητήσεις συγκεντρώνονται στο στοιχείο με το συμβολισμό Σ ενώ τα λύματα που παράγουν οι συσκευές αναμιγνύονται μέσω του στοιχείου με το συμβολισμό M . Στη συνέχεια γίνεται η αναγωγή σε επίπεδο τετραγώνου πολλαπλασιάζοντας τη ζήτηση – λύματα με τον αριθμό των κατοικιών ανά τετράγωνο (χρήση του στοιχείου με το χαρακτηριστικό X στη μέση). Τέλος, γίνεται αναγωγή στην κλίμακα της πόλης (οκταγωνικά στοιχεία “Blocks” και “Public uses”). Πάνω δεξιά, φαίνεται επίσης ένα στοιχείο (IN) το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των χρονοσειρών ζήτησης για βιομηχανική χρήση οι οποίες έχουν υπολογιστεί εκτός του προγράμματος. Τέλος, τα στοιχεία που προσομοιώνουν το σύστημα συλλογής ομβρίων και αποχέτευσης είναι στο κάτω δεξιά μέρος του σχήματος και λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως το στοιχείο (AQ) που περιεγράφηκε παραπάνω.

Λόγω έλλειψης δεδομένων επιστρατεύτηκαν συνθετικές χρονοσειρές για το πληθυσμό αλλά και τη συχνότητα χρήσης χρησιμοποιώντας λογικές παραδοχές (Rozos & Makropoulos, 2013). Στα πλαίσια της σύνθεσης της χρονοσειράς του πληθυσμού έγιναν 2 υποθέσεις για τη διακύμανση. Η πρώτη αφορούσε την περιστασιακή μείωση του πληθυσμού λόγω των καλοκαιρινών διακοπών και η δεύτερη τη γραμμική αύξηση του πληθυσμού από το 2001 έως το 2010 λόγω αστικοποίησης. Αντίστοιχα, για τη συχνότητα χρήσης έγιναν 2 υποθέσεις. Η πρώτη λάμβανε υπόψη την εποχική διακύμανση σύμφωνα με την οποία υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε αύξηση της χρήσης ορισμένων συσκευών. Η δεύτερη υπόθεση εκτιμούσε μία αυξητική τάση στην κατανάλωση η οποία μπορεί να οφείλεται σε κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες.

Το UWOT χρησιμοποιήθηκε,στη συνέχεια, για να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία του συστήματος ύδρευσης. Σκοπός της βελτιστοποίησης ήταν να βρεθεί ο βέλτιστος παραμετρικός κανόνας για το εξωτερικό σύστημα ώστε να παρατηρείται το ελάχιστο δυνατό μέσο ετήσιο έλλειμμα για την κάλυψη της ζήτησης και ταυτόχρονα να απαιτείται η ελάχιστη δυνατή ενέργεια από το σύστημα. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Shuffled Complex Evolution Algorithm (Duan et al., 1992).

Τα αποτελέσματα του UWOT στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που προήλθαν από το πρόγραμμα Hydronomeas το οποίο είναι επίσης ικανό να προσομοιώνει και να βελτιστοποιεί το εξωτερικό σύστημα ύδρευσης. Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας γίνεται εκτενής σύγκριση μίας σειρά παραμέτρων όπως οι προσομοιωμένες ζητήσεις, οι διακυμάνσεις στα αποθέματα των ταμιευτήρων, οι αφαιρέσεις νερού από τις γεωτρήσεις κ.ά. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα μόνο από τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στην εργασία το οποίο αφορά τη σύγκριση της ιστορικής χρονοσειράς για τη ζήτηση νερού στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας με την χρονοσειρά που πρόβλεψε από το UWOT, όπου είναι εμφανές ότι η υπάρχει αρκετά ικανοποιητική σύγκλιση.



Σχήμα 3.5 Σύγκριση ιστορικών και προσομοιωμένων χρονοσειρών ζήτησης στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας (Πηγή: Rozos & Makropoulos, 2013)

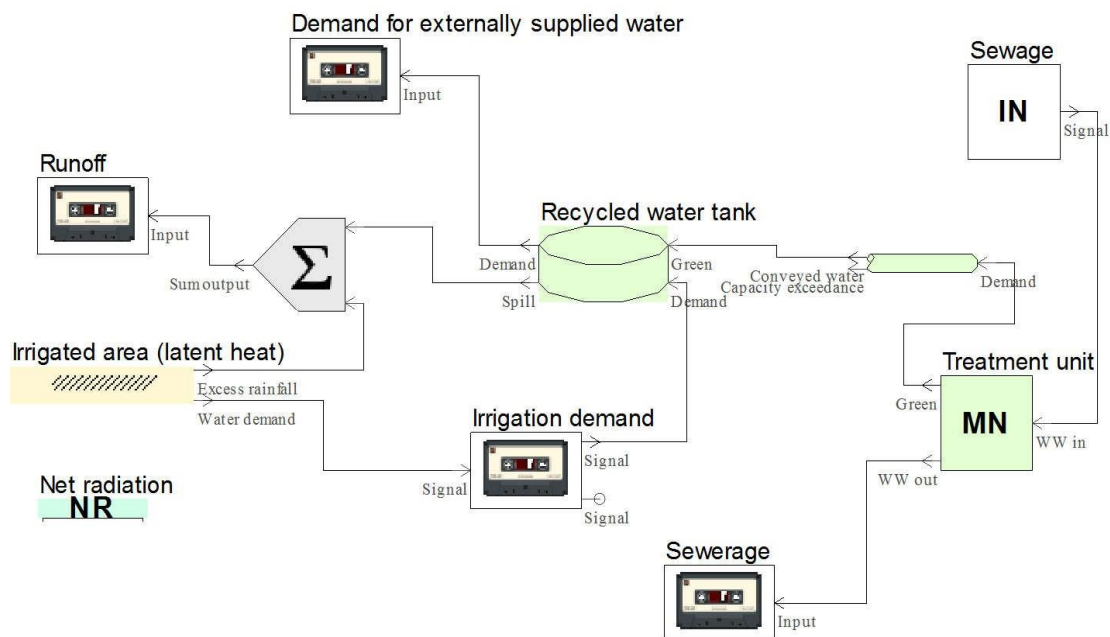
Εφαρμογή 3

Πιο πρόσφατα, το 2016, οι Rozos et al. χρησιμοποίησαν εκ νέου το UWOT στα πλαίσια της εργασίας τους με τίτλο “Turning black into green: Ecosystem services from treated wastewater”. Σκοπός της εργασίας είναι η ανάδειξη της έννοιας του οικοσυστήματος μέσω της παρουσίασης μίας μεθοδολογίας η οποία ποσοτικοποιεί τις θετικές επιπτώσεις μίας πράσινης περιοχής στην μείωση του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας.

Το UWOT προσομοιώνει τη ζήτηση νερού από τη πράσινη περιοχή αλλά και τις ροές ενέργειας (λανθάνουσα θερμότητα, καθαρή ακτινοβολία και ηλιακές ακτίνες), ενώ στη συνέχεια τα δεδομένα εισάγονται σε ένα πρόγραμμα μεταφοράς θερμότητας (Energy2D), για την εκτίμηση των θερμοκρασιών στην περιοχή μελέτης.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο Κέντρο Ερευνητικών Εφαρμογών Υγιεινοοικονομικής Τεχνολογίας της ΕΥΔΑΠ, στο οποίο λειτουργεί μονάδα ανακύκλωσης νερού (δυναμικότητας 10 m³/ημ), με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του για την άρδευση μίας πράσινης περιοχής με έκταση 50 m².

Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζεται το υδάτινο σύστημα της περιοχής μελέτης όπως σχεδιάστηκε στο UWOT.

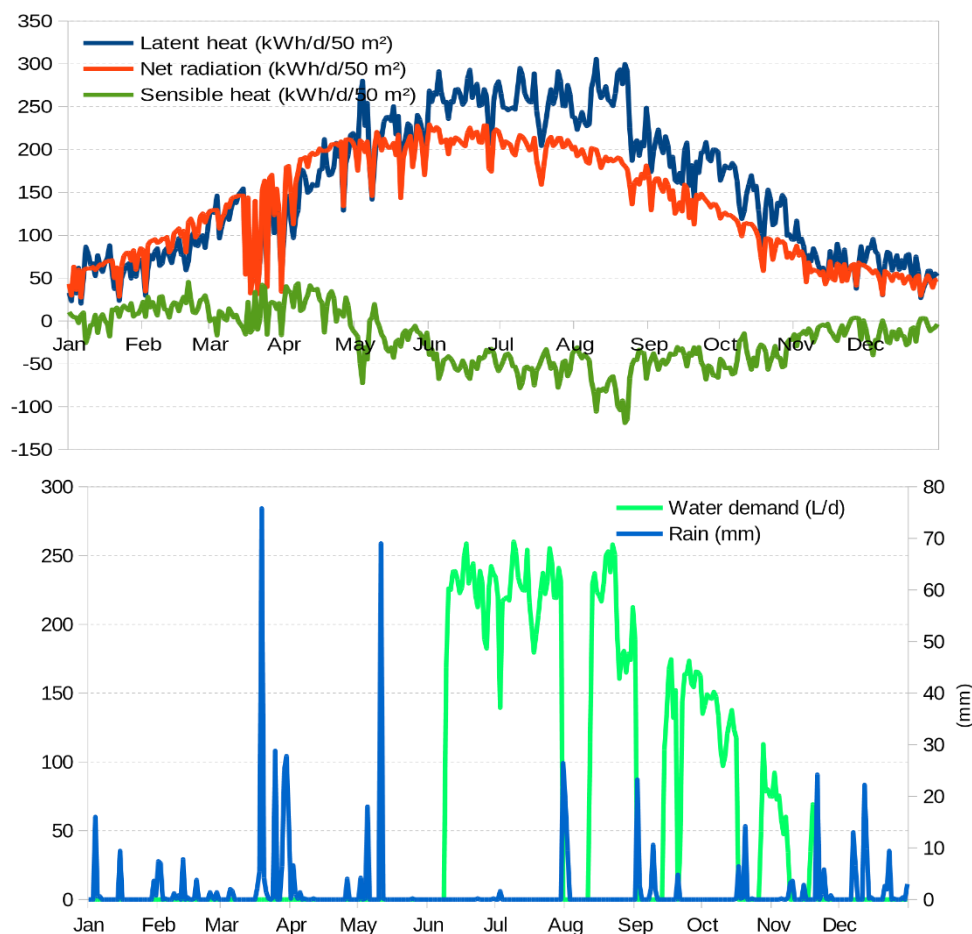


Σχήμα 3.6 Το μοντέλο του συστήματος νερού της περιοχής μελέτης στο UWOT (Πηγή: Rozos et al., 2017)

Τα λύματα τροφοδοτούνται στην μονάδα επεξεργασίας (MN) από την οποία το καθαρό πλέον νερό οδηγείται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης. Η δεξαμενή παρέχει το απαιτούμενο νερό για την άρδευση. Όταν η χωρητικότητα της εξαντληθεί το νερό υπερχειλίζει ενώ αντίθετα αν η δεξαμενή αδειάσει τροφοδοτείται νερό από εξωτερική πηγή. Το στοιχείο (NR) που δεν είναι συνδεδεμένο με το σύστημα χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τη καθαρή ακτινοβολία.+

Η προσομοίωση έγινε για την περίοδο 1^η Ιανουαρίου 1991 μέχρι 31 Δεκεμβρίου 1991 με ημερήσιο χρονικό βήμα. Όπως και παραπάνω, οι απαιτούμενες χρονοσειρές βροχόπτωσης

είναι δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνονται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 Οι διακυμάνσεις θερμότητας πάνω από την περιοχή μελέτης (πάνω διάγραμμα) και η ζήτηση νερού για την άρδευση της περιοχής μελέτης (κάτω διάγραμμα) όπως εκτιμήθηκαν από το UWOT (Πηγή: Rozos et al., 2017)

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτέλεσαν είσοδο στο πρόγραμμα Energy2D. Από το πρόγραμμα προέκυψε τελικά ότι η θερμοκρασία πάνω από την πράσινη περιοχή ήταν 33,7 °C ενώ πάνω από τις ασφαλτοστρωμένες περιοχές ήταν 39,9 °C, με τη θερμοκρασία αέρα να είναι στους 35,3 °C.

Παρόλο που το συγκεκριμένο πρόγραμμα δεν λαμβάνει υπόψη τις περίπλοκες και δυναμικές κλιματικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη πραγματικότητα, η προσομοίωση επιτρέπει κάποια συμπεράσματα. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, γίνεται εμφανής η θετική επίδραση της πράσινης περιοχής στη μείωση της θερμοκρασίας αφού η διαφορά μεταξύ των δύο περιοχών (πράσινη – ασφαλτοστρωμένη) ήταν 6,2 °C, ενώ το σημαντικό ήταν ότι η μεθοδολογία προβλέπει τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων με αποτέλεσμα η πίεση στους υδάτινους πόρους να είναι μηδαμινή.

Με βάση τα παραπάνω η δυνατότητα που δίνει το UWOT για την πλήρη προσομοίωση του αστικού κύκλου του νερού το καθιστά ένα χρήσιμο εργαλείο για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης νερού/λυμάτων σε ένα αστικό περιβάλλον.

3.2 Η χρήση του UWOT στην παρούσα εργασία

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας στόχος είναι η αξιολόγηση μίας προτεινόμενης επέμβασης στη περιοχή του Φυτωρίου Αθηνών. Η επέμβαση περιλαμβάνει τη τοποθέτηση μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων για τη μερική άρδευση της εγκατάστασης, η οποία αυτή τη στιγμή καλύπτει τις ανάγκες για νερό εξολοκλήρου από την ΕΥΔΑΠ.

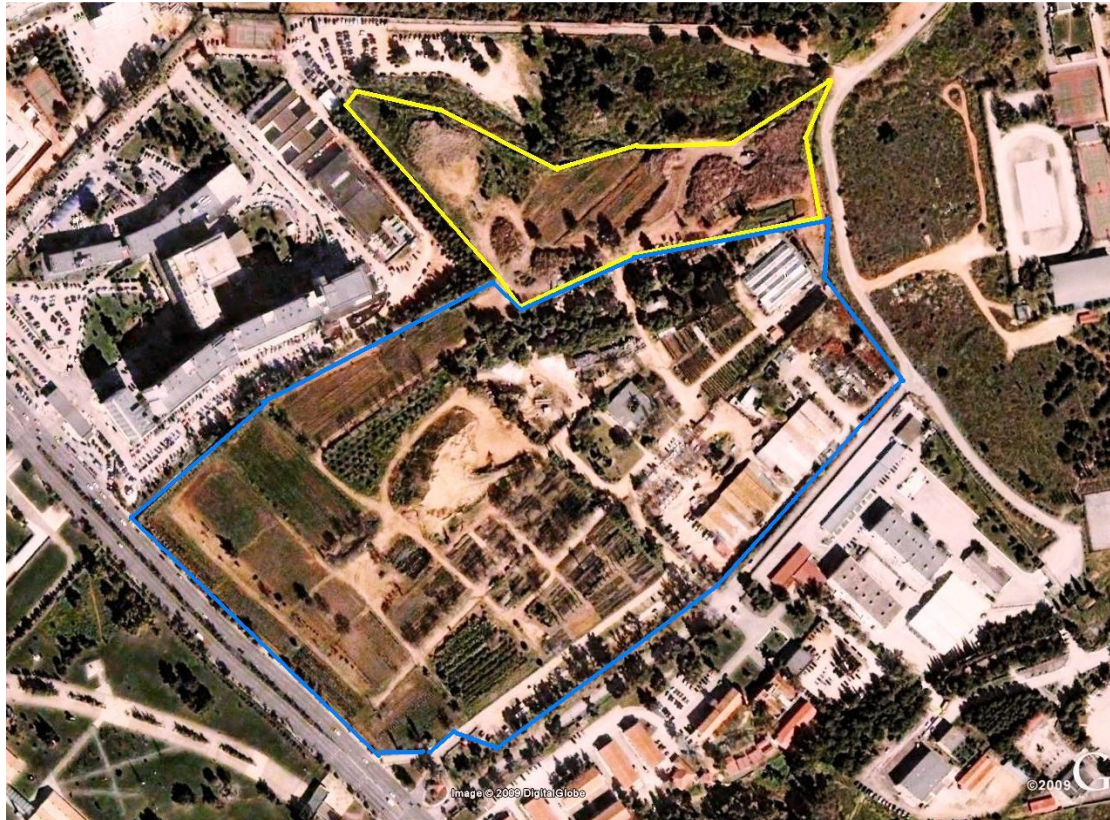
Μέσω του UWOT πραγματοποιείται η προσομοίωση του συστήματος που προτείνεται να κατασκευαστεί, ενώ σκοπός είναι να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα (όπως η ζήτηση νερού που απαιτείται από το σύστημα μετά την επέμβαση), με τα αντίστοιχα δεδομένα που δόθηκαν τόσο από το Φυτόριο όσο και από την ΕΥΔΑΠ, ώστε να αξιολογήσουμε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Σε δεύτερη φάση γίνεται προσομοίωση ενός συστήματος που περιλαμβάνει 2 μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων, αφού η δυνατότητα επέκτασης (εφόσον είναι θεμιτό) είναι υπαρκτή. Η αναλυτική παρουσίαση της περίπτωσης που μελετάται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στη συνέχεια της εργασίας.

4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΤΟ ΦΥΤΩΡΙΟ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΘΗΝΑΙΩΝ

Στο επόμενο κομμάτι της εργασίας θα αναλυθεί η περίπτωση του Φυτωρίου του Δήμου Αθηναίων, στο οποίο εξετάζεται η εγκατάσταση μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων, στα πλαίσια του προγράμματος NextGen της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την προώθηση αυτόνομων και αποκεντρωμένων συστημάτων, με στόχο την αντιμετώπιση των ζητημάτων διαθεσιμότητας υδατικών πόρων σε αστικό περιβάλλον.

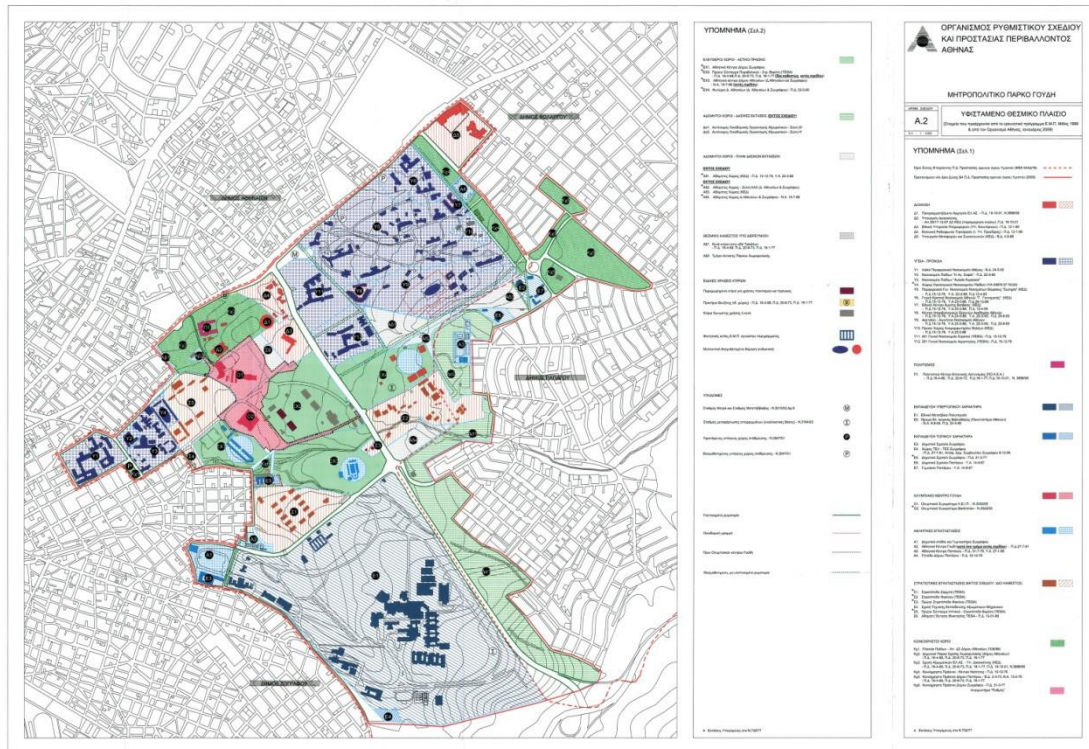
4.1 Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Το Φυτώριο του Δήμου Αθηναίων βρίσκεται στην περιοχή του Γουδιί επί της Λεωφόρου Παναγιώτη Κανελλόπουλου στην Αθήνα (Εικόνα 4.1). Καλύπτει μία έκταση περίπου 96 στρεμ. από τα οποία 40 στρεμ. χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, ανάπτυξη και συντήρηση φυτών ενώ 56 στρεμ. χρησιμοποιούνται για λοιπές δραστηριότητες όπως χώροι διοίκησης και γραφεία. Η παραγωγή του φυτωρίου τροφοδοτεί όλες τις ανάγκες πρασίνου του Δήμου Αθηναίων.



Εικόνα 4.1 Η έκταση του Φυτωρίου του Δήμου Αθηναίων

Τυπικά, το φυτώριο ανήκει στην ιδιοκτησία των Δήμων Αθηναίων – Ζωγράφου (πράξη εκχώρησης με το Ν. 732/1977), με το Δήμο Αθηναίων να έχει τη νόμιμη χρήση (ΟΡΣΑ).



Εικόνα 4.2. Χρήσεις γης του Μητροπολιτικού Πάρκου στο Γουδί (Πηγή: Δήμος Αθηναίων, 2017)

Σύμφωνα με δεδομένα από το φυτώριο οι εκτιμήσεις για την τωρινή παραγωγή ανέρχονται σε:

- 30.000 δέντρα
- 50.000 θάμνους
- 20.000 – 30.000 ανθόφυτα
- 30 διαφορετικά είδη δέντρων
- 93 διαφορετικά είδη θάμνων
- 16 διαφορετικά είδη αναρριχώμενων και αρωματικών φυτών

Εκτός από την παραγωγή και συντήρηση φυτών εντός της εγκατάστασης, το φυτώριο δέχεται επίσης και την πλειονότητα των κλαδεμάτων των δέντρων του Δήμου Αθηναίων. Η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για τον Δήμο της Αθήνας αφού ετησίως συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες στις εγκαταστάσεις της Διεύθυνσης Κηποτεχνείας – Πρασίνου στο Γουδί, οι οποίες λόγω αδυναμίας επεξεργασίας τους μεταφέρονται είτε στο ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων, είτε στο ΧΥΤΑ (Δήμος Αθηναίων, 2017). Στον παρακάτω πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή κλαδεμάτων ανά δέντρο αλλά και η συνολική ποσότητα φυτικών υπολειμμάτων την οποία καλείται να διαχειριστεί ο Δήμος και το φυτώριο.

Πίνακας 4.1 Δεδομένα ποσοτήτων και ετήσιων κλαδεμάτων ανά δέντρο στο Φυτόριο (Πηγή: Φυτόριο Δήμου Αθηναίων, Επικοινωνία)

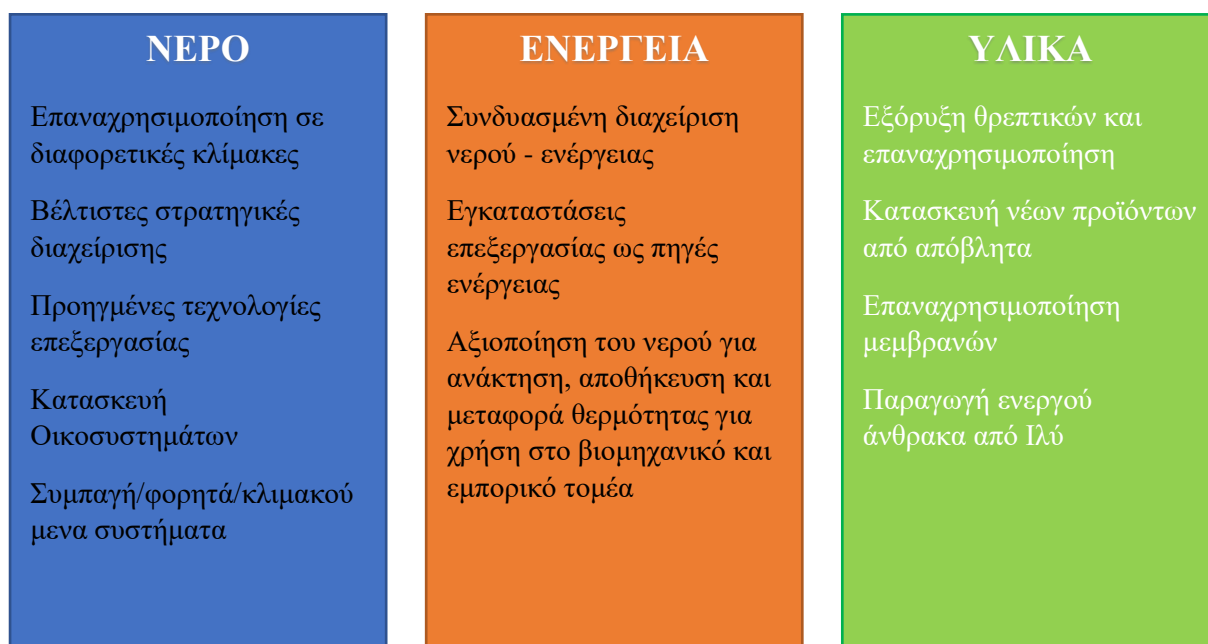
Τύπος Δέντρων	Ποσότητα δέντρων στο Δήμο Αθηναίων	% κλαδέματος ανά δέντρο	Ετήσια παραγωγή κλαδεμάτων ανά δέντρο (m ³)
Morus	19395	0.2	3879
Citrus	18118	0.1	1811.8
Robinia -Acacia-	16618	0.3	4985.4
Hibiscus	5780	0.1	578
Olea	4839	0.2	967.8
Ligustrum	4154	0.15	623.1
Populus	2776	0.4	1110.4
Acer	2014	0.4	805.6
Pinus pinea	1630	0.15	244.5
Cercis	1279	0.05	63.95
Koelreuteria paniculata	1197	0.2	239.4
Brachychiton acerifolius	913	0.1	91.3
Nerium oleander	883	0.1	88.3
Casuarina equisetifolia	815	0.3	244.5
Ailanthus altissima	784	0.2	156.8
Melia	713	0.4	285.2
Pinus halepensis	579	0.1	57.9
Laurus nobilis	522	0.1	52.2
Jacaranda	491	0.5	245.5
Platanus	490	0.5	245
Albizia julibrissin	441	0.1	44.1
Phoenix Canariensis	439	0.3	131.7
Ceratonia	355	0.3	106.5
Washingtonia filifera - Washingtonia robusta - Washingtonia filibusta	351	0.3	105.3
Eucalyptus	282	1.2	338.4
PRUNUS CERASIFERA	207	0.2	41.4
Cupressaceae	166	0.1	16.6
SCHINUS MOLLE	141	0.1	14.1
Citrus limon	97	0.1	9.7
CUPRESSOCYPARIS LEYLANDI	81	0.1	8.1
Acacia farnesiana	49	0.15	7.35
Pittosporum	38	0.05	1.9
Ficus carica	34	0.2	6.8
Άλλο	7220	0.1	722
Σύνολο	93891		18329.6

Για την άρδευση των 40 στρεμ. το Φυτόριο τροφοδοτείται με πόσιμο νερό από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ. Σύμφωνα με δεδομένα του Φυτωρίου, η μέση ημερήσια κατανάλωση σε περιόδους αιχμής ανέρχεται στα 250 m³ ενώ η ετήσια κατανάλωση είναι της τάξης των 62.250 m³/έτος με αποτέλεσμα το ετήσιο κόστος του νερού να φτάνει τα 72.750 € (Πίνακας 4.2.).

Το Φυτόριο είναι μέρος της ευρύτερης έκτασης του Πάρκου του Γουδή, η οποία βρίσκεται σε διαδικασία ανάπλασης με σκοπό την αναβάθμιση της σε ένα σημαντικό Μητροπολιτικό Πάρκο για την πόλη της Αθήνας με θετικές επιπτώσεις για την τοπική οικονομία και τη ποιότητα ζωής των κατοίκων.

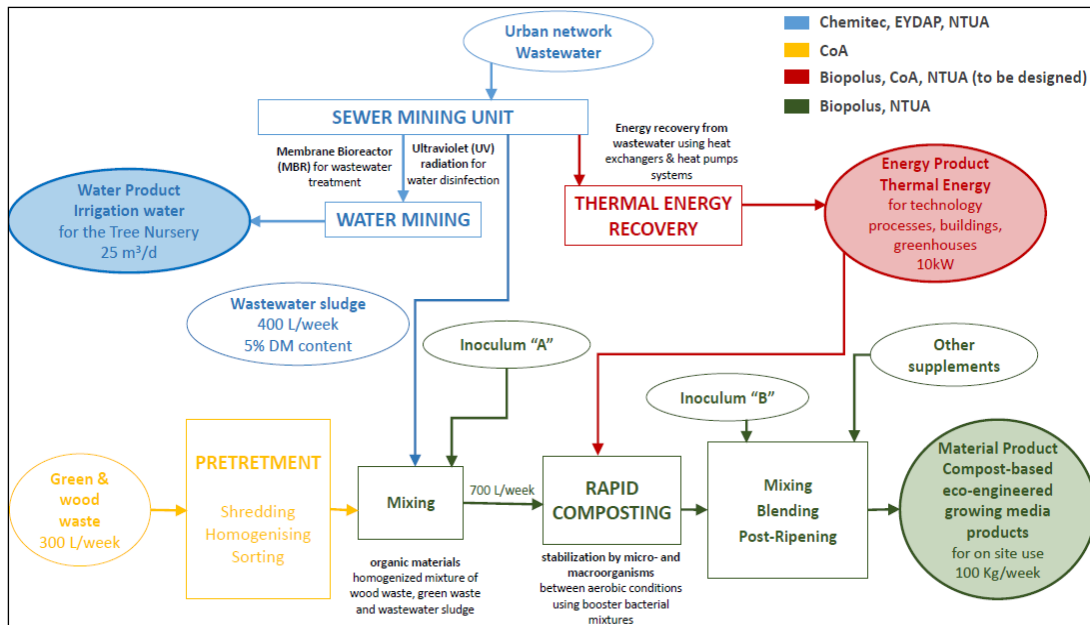
4.2 Περιγραφή της επέμβασης S. Mining

Στα πλαίσια του προγράμματος NextGenWater (www.nextgenwater.eu) το οποίο έχει στόχο την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και της προσέλκυσης νέων αγορών στο κύκλο του νερού, το Φυτόριο του Δήμου Αθηναίων επιλέχθηκε μαζί με άλλες 9 περιπτώσεις σε όλη την Ευρώπη ως πιλοτικές εφαρμογές. Σκοπός του NextGenWater, το οποίο έχει λάβει χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια του προγράμματος έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020, είναι ο σχεδιασμός, η αξιολόγηση και η επίδειξη τεχνολογιών που βασίζονται στην αξιοποίηση του τρίπτυχου Νερό – Ενέργεια – Υλικά (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Οι βασικοί άξονες της NextGenWater για την ανάπτυξη τεχνολογιών

Η προτεινόμενη επέμβαση στο Φυτόριο του Δήμου Αθηναίων περιλαμβάνει την εγκατάσταση μίας αυτόνομης μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων για τη μερική άρδευση του Φυτωρίου. Επιπρόσθετα, προβλέπεται η παραγωγή κομπόστ για χρήση ως λίπασμα στα φυτά της εγκατάστασης, ενώ προτείνεται και η διερεύνηση τεχνολογιών ανάκτησης ενέργειας για την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της μονάδας. Η διάταξη των επιμέρους στοιχείων δίνεται στο σχήμα 4.2. που ακολουθεί.

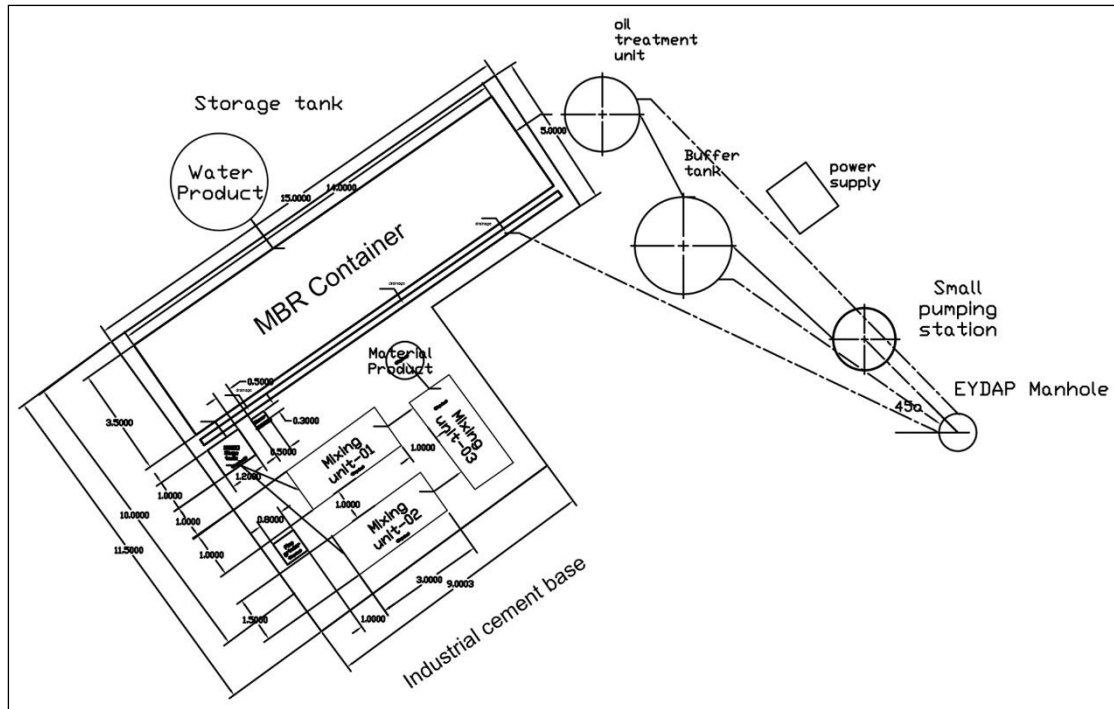


Σχήμα 4.2 Η διάταξη της προτεινόμενης επέμβασης στο Φυτόριο Δήμου Αθηναίων (Πηγή: NextGenWater)

Νερό παράγεται μέσω της λήψης και επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων από το υφιστάμενο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ στη περιοχή του Φυτωρίου με χρήση της τεχνολογίας Sewer Mining. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εφαρμογής, θα κατασκευαστεί μονάδα επεξεργασίας λύματος και αντλιοστάσιο πλησίον του επιλεγέντος φρεατίου του αποχετευτικού δικτύου, προκειμένου να γίνεται άντληση (περίπου 25 m³/ημ) για επεξεργασία και επιτόπου επαναχρησιμοποίηση (βλ. Σχήμα 4.2). Το παραγόμενο νερό αποσκοπεί στην άρδευση μέρους του Φυτωρίου, καθώς και σε άλλες δευτερεύουσες χρήσεις (π.χ. πλύσιμο, πυρόσβεση).

Ενέργεια, η οποία αφορά στην ανάκτηση θερμότητας, παράγεται με χρήση συστημάτων εναλλακτών και αντλιών θερμότητας. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη ενημέρωση εκτιμάται ότι η παραγόμενη ενέργεια (περίπου 10 kW) θα χρησιμοποιείται για την θέρμανση κτιρίων και του θερμοκηπίου του Φυτωρίου.

Τέλος, στην εγκατάσταση προβλέπεται η παραγωγή υλικών μέσω της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος που παράγεται από τη μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων (400 L/εβδομάδα), σε συνδυασμό με τα επεξεργασμένα υλικά των κλαδεμάτων (ξυλώδη και φυτικά) (300 L/εβδομάδα) για τη δημιουργία υψηλής θρεπτικής ποιότητας λιπάσματος (100 kg/εβδομάδα), περιορίζοντας τη χρήση πρόσθετων υλικών στο Φυτόριο. Για το σκοπό αυτό, θα κατασκευασθεί σύστημα προεπεξεργασίας κλαδεμάτων που αποτελείται από μονάδες τεμαχισμού και ομογενοποίησης (βλ. Σχήμα 4.3). Τα υλικά αποτελούν ροή εισόδου στη μονάδα Sewer Mining, και αναμιγνύονται με τη λυματολάσπη που προκύπτει κατά την επεξεργασία των λυμάτων ώστε να παραχθεί το εν λόγω λίπασμα. Σύμφωνα, με τα μέχρι τώρα διαθέσιμα δεδομένα οι απαιτούμενοι χώροι για τα συστήματα προεπεξεργασίας και κομποστοποίησης θα είναι μεγέθους ενός ή δύο κοντέινερ ενώ οι ενεργειακές απαιτήσεις μεταξύ 10 – 20 kW.

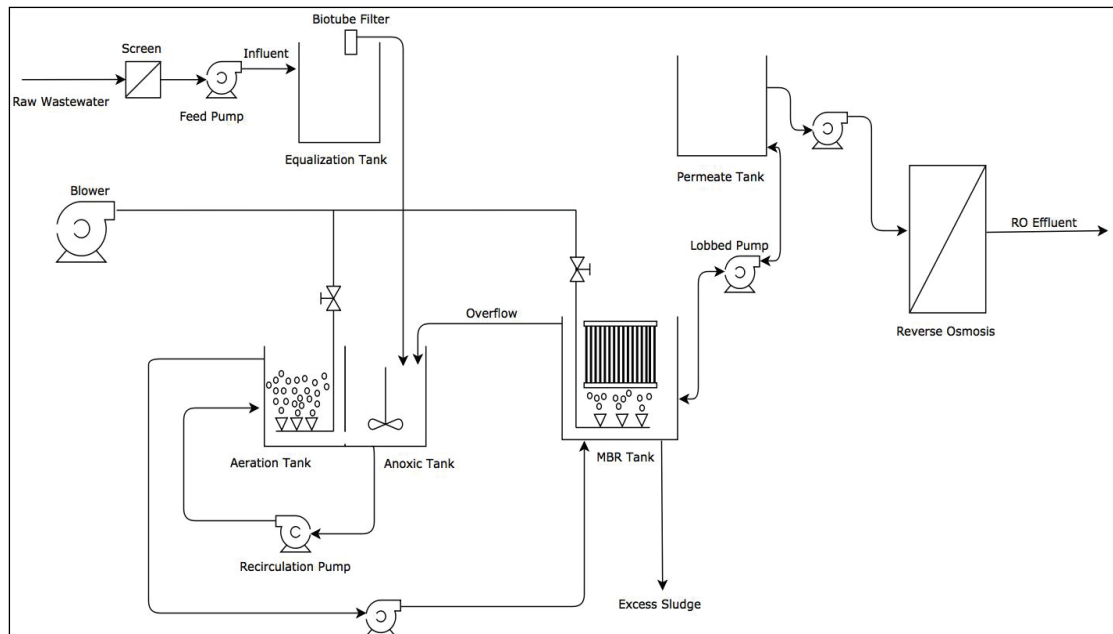


Σχήμα 4.3 Ο χωροταξικός σχεδιασμός της εγκατάστασης (Πηγή: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, επικοινωνία)

Η υλοποίηση των παραπάνω θα πραγματοποιηθεί από μία ομάδα οργανισμών και εταιριών που συνεργάζονται άμεσα με το NextGenWater, όπως η εταιρεία Chemitec, η εταιρεία Biopolus, η ΕΥΔΑΠ, ο Δήμος Αθηναίων και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Η μονάδα που θα κατασκευαστεί βασίζεται σε τεχνολογία που εφαρμόστηκε ήδη στην Ελλάδα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος DESSIN. Η πιλοτική μονάδα του DESSIN (που τοποθετήθηκε στο Κέντρο Ερευνητικών Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας της ΕΥΔΑΠ) έχει σχετικά μικρή δυναμικότητα αφού δύναται να επεξεργαστεί περί το 10 m³/ημ, είναι επομένως περίπου 2,5 φορές μικρότερη από τη προτεινόμενη μονάδα του Φυτωρίου. Εντούτοις, και οι δύο μονάδες χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, το βασικό στάδιο επεξεργασίας αποτελείται από ένα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) σε συνδυασμό με αντίστροφη ώσμωση.

Η επεξεργασία ξεκινάει με το στάδιο της απονιτροποίησης που περιλαμβάνει μία ανοξική δεξαμενή εφοδιασμένη με τη κατάλληλη διάταξη ανάδευσης για τη σωστή ανάμειξη των αποβλήτων. Το ανάμεικτο υγρό εισέρχεται στη συνέχεια στη δεξαμενή αερισμού όπου λαμβάνουν χώρα οι βιολογικές διεργασίες της οξειδωσης του οργανικού φορτίου, της νιτροποίησης και της σταθεροποίησης της ιλύος. Μέσω μίας μεμβράνης UF (Ultrafiltration) γίνεται ο διαχωρισμός των αιωρούμενων στερεών από το επεξεργασμένο υγρό. Η περίσσεια της παραγόμενης ιλύος επιστρέφει στο αποχετευτικό σύστημα, ενώ το υγρό οδηγείται σε μία δεξαμενή εφοδιασμένη με αντλία μέσω της οποίας φτάνει στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης RO. Τέτοια συστήματα συνήθως ακολουθούν την επεξεργασία MBR ειδικά σε περιπτώσεις που το νερό παρουσιάζει αυξημένα επίπεδα αλμυρότητας.



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας MBR – RO του ΚΕΡΕΦΥΤ (Πηγή: Plevri et al., 2017)

Η περίσσεια Ιλύος, η οποία συλλέγεται απευθείας από τη δεξαμενή του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών, εκτιμάται ότι θα έχει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2) (με βάση δεδομένα από το πιλοτικό πρόγραμμα DESSIN).

Πίνακας 4.2 Εκτιμώμενα χαρακτηριστικά της πλεονάζουσας Ιλύος της μονάδας (Πηγή: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, επικοινωνία)

Παράμετρος	Χαρακτηριστικά Ιλύος
Αιωρούμενα Στερεά Μικτού Υγρού (MLSS)	8,000 ± 1,500 ¹
Πτητικά Α. Στερεά Μικτού Υγρού (MLVSS)	6,000 ± 700
Ολικός Φώσφορος (TP)	5 ± 1
Ολικό Άζωτο (TN)	35 ± 10
pH	7

Όπως γίνεται κατανοητό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό η εκροή της εγκατάστασης να πληρεί τις ποιοτικές προδιαγραφές που έχουν τεθεί από την Ελληνική Νομοθεσία με την ΚΥΑ 145116/2011, αφού το παραγόμενο νερό θα χρησιμοποιηθεί για άρδευση των φυτών. Στα πλαίσια του DESSIN η πιλοτική μονάδα MBR – RO αξιολογήθηκε και τα αποτελέσματα των εκροών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Επιπρόσθετα, στη τελευταία στήλη του πίνακα φαίνονται και τα σχετικά όρια της νομοθεσίας για νερό που θα επαναχρησιμοποιηθεί για αστική χρήση (όχι πόσιμη) σύμφωνα με τον Πίνακα 3 του Παραρτήματος της (ΚΥΑ 145116/2011) . Πράγματι, όλες οι μετρημένες παράμετροι στην έξοδο της μονάδας είναι εντός των επιτρεπτών ορίων που προβλέπονται.

¹ Μέση Τιμή ± Τυπική Απόκλιση

Πίνακας 4.3 Η απόδοση της πιλοτικής μονάδας MBR – RO (συγκ. σε mg/L, NP σε ng/L, TC, FC, EC σε cfu/100 mL, θολότητα σε NTU) (Πηγή: Plevri et al., 2017)

Παράμετροι	Εκροή MBR	Εκροή RO	Όρια Νομοθεσίας
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	<OA για 80% των δειγμάτων	<OA ¹	≤2 για 80% των δειγμάτων ² ≤10 για 80% των δειγμάτων ³
BAO₅ (BOD₅)	0.9 (μέση τιμή)	≤1 για 80% των δειγμάτων	≤10 για 80% των δειγμάτων ^{2,3}
ΧΑΟ (COD)	23 ± 9.5 ⁴	<10 (μέση τιμή)	
ΧΑΟ₅ (COD₅)	29 ± 10 ⁴	<10 (μέση τιμή)	
Ολικό Αζωτο (TN)	-	12 (μέση τιμή)	≤15 ^{2,3}
NH₄-N	0.25 ± 0.32 ⁴	-	≤2 ^{2,3}
Ολικός Φόσφορος (TP)	5.9 ± 1 ⁴	<0.5	
Θολότητα (Turbidity)	0.04 (διάμεσος)	-	≤2 (διάμεσος) ^{2,3}
Ολικά Κολοβακτηρίδια (TC)	307 ± 309 ⁴ 578 για 80% των δειγμάτων 1,115 για το 95 % των δειγμάτων	MA ⁵	≤2 για 80% των δειγμάτων ² ≤20 για 95% των δειγμάτων ²
Κολοβακτηρίδια κοπράνων (FC)	1 ± 1.8 ⁴	MA ⁵	-
E. Coli (EC)	0.8 ± 1 ⁴ ≤2 για το 80% και 95% των δειγμάτων	MA ⁵	≤5 για 80% των δειγμάτων ³ ≤50 για 95% των δειγμάτων ³

¹Όρια Ανίχνευσης

² Τα επιτρεπόμενα όρια από την Ελληνική Νομοθεσία για αστική επαναχρησιμοποίηση ή επαναφόρτιση υπόγειων νερών

³ Τα επιτρεπόμενα όρια από την Ελληνική Νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για ανεξέλεγκτη άρδευση και/ή βιομηχανική χρήση

⁴ Μέση τιμή ± Τυπική Απόκλιση

⁵ Μη ανιχνεύσιμο

5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΎΩΤ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η διαδικασία της προσομοίωσης της επέμβασης η οποία περιεγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το πρώτο κομμάτι αφορά την συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων, το δεύτερο την επεξεργασία τους για την μετατροπή τους σε δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα και το τρίτο την περιγραφή της δημιουργίας του μοντέλου. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και γίνεται μία αρχική αξιολόγηση τους με βάση υπάρχοντα δεδομένα για το Φυτόριο. Η προσομοίωση έγινε σε πρώτη φάση υποθέτοντας μία μονάδα Sewer Mining σε λειτουργία και σε δεύτερη φάση υποθέτοντας ότι στο Φυτόριο θα λειτουργούν δύο πανομοιότυπες μονάδες ταυτόχρονα.

5.1 Συγκέντρωση δεδομένων

Το πρώτο βήμα της εργασίας είχε να κάνει με τη συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων και στοιχείων τόσο για το Φυτόριο, όσο και για τη μονάδα που θα εγκατασταθεί. Τα χαρακτηριστικά της μονάδας όπως περιεγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο προέκυψαν με ανάγωγες και εκτιμήσεις από τα δεδομένα για την αντίστοιχα μονάδα MBR – RO του προγράμματος DESSIN. Με δεδομένο ότι η μονάδα του Φυτωρίου δεν έχει κατασκευαστεί μέχρι τη στιγμή της συγγραφής αυτής της εργασίας, θεωρήθηκαν αυτά τα στοιχεία ως ισχύοντα και στην νέα μονάδα.

Όσον αφορά την εγκατάσταση του Φυτωρίου, τα δεδομένα που θεωρήθηκαν απαραίτητα ήταν κυρίως η παροχή του λύματος από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ, οι ανάγκες σε νερό (για σύγκριση με τα αποτελέσματα του μοντέλου) αλλά και η ποιότητα των εισερχόμενων λυμάτων.

Για τους σκοπούς αυτούς πραγματοποιήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ δειγματοληψίες στο αποχετευτικό δίκτυο του Φυτωρίου την περίοδο Αυγούστου – Οκτωβρίου 2018. Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1 Τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας για τα εισερχόμενα λύματα

Παράμετροι ¹	Ημερομηνία Δειγματοληψίας						
	1/8/2018	2/8/2018	5/9/2018	12/9/2018	19/9/2018	26/9/2018	17/10/2018
TSS	218	148	192	265	370	288	
VSS	190	134	130	142	210	150	
TN	104	124	109	109	104	115	150
NH ₄ -N			89	90	84	95	
NO ₃ -N	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7
NO ₂ -N	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²	MA ²
TP	10.9	9.6	12.8	12.3	12.6	13.5	
COD	488	337	538	589	675	561	
COD ₅	135	128	135	140	135	102	
BOD	212	142	234	246	290	267	383
SO ₄			8	37	10	22	
pH			6.8	7.9	7.6	7.7	
FOG			55	55	54	55	59

¹ Όλες οι παράμετροι μετρούνται σε mg/L εκτός του pH.

² Μη ανιχνεύσιμο

Τα δεδομένα για την παροχή του λύματος προήλθαν πάλι από την ΕΥΔΑΠ. Συγκεκριμένα, μέσω του προγράμματος GIS της εταιρείας, καταγράφηκαν όλοι οι μετρητές ύδρευσης που καταλήγουν στο φρεάτιο από το οποίο θα γίνει η άντληση των λυμάτων για τη μονάδα Sewer Mining, καθώς και τα κυβικά νερού που καταναλώνονται ανά τρίμηνο. Με βάση τα παραπάνω, η εισερχόμενη παροχή υπολογίστηκε ως εξής (βλ. Παράρτημα Πίνακας 1) :

Υπολογίστηκε η συνολική κατανάλωση για νερό για όλους του μετρητές που δόθηκαν για διάστημα ενός έτους. Στη συνέχεια θεωρήθηκε ότι το 80% του καταναλισκόμενου νερού καταλήγει στην αποχέτευση. Έτσι, υπολογίστηκαν τα κυβικά νερού που καταλήγουν στην αποχέτευση για τα έτη 2016/2017 και 2017/2018 (βλ. Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2 Στοιχεία ΕΥΔΑΠ για την περιοχή του Φυτωρίου (Πηγή: ΕΥΔΑΠ, επικοινωνία)

	2016 - 2017	2017 - 2018
Κατανάλωση νερού	178	169
Παροχή αποχέτευσης (80% του κατ. νερού)	143	135

Τα δεδομένα για τις ανάγκες της εγκατάστασης σε νερό, σύμφωνα με το Φυτόριο και της ΕΥΔΑΠ, είναι :

- Μέση Ημερήσια Κατανάλωση Νερού = 250 m³/ημέρα (σε περιόδους αιχμής)
- Ετήσια Κατανάλωση Νερού = 62.250 m³

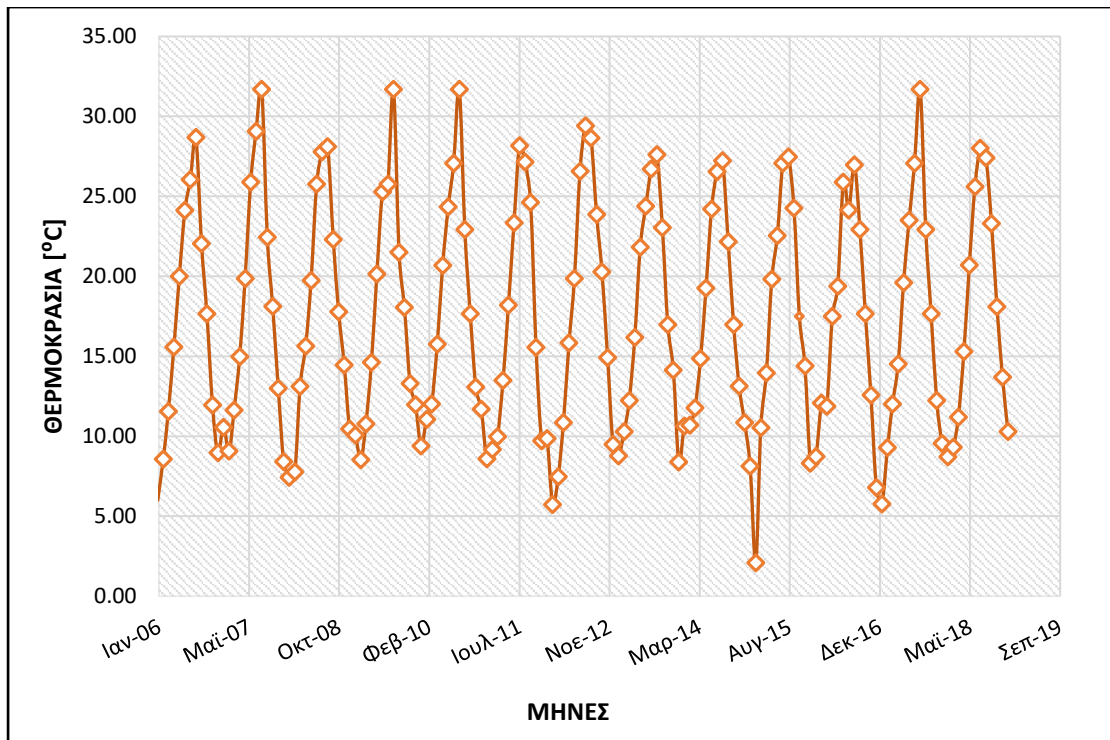
Επιπρόσθετα, για τη δημιουργία χρονοσειράς ζήτησης νερού, υπολογίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες των φυτών του Φυτωρίου βάση μίας χρονοσειράς βροχόπτωσης και μίας χρονοσειράς θερμοκρασιών. Αυτά τα δεδομένα προήλθαν από το Μετεωρολογικό Σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στη Ζωγράφου. Πρόκειται για χρονοσειρές μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για την περίοδο 2006-2018.

5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

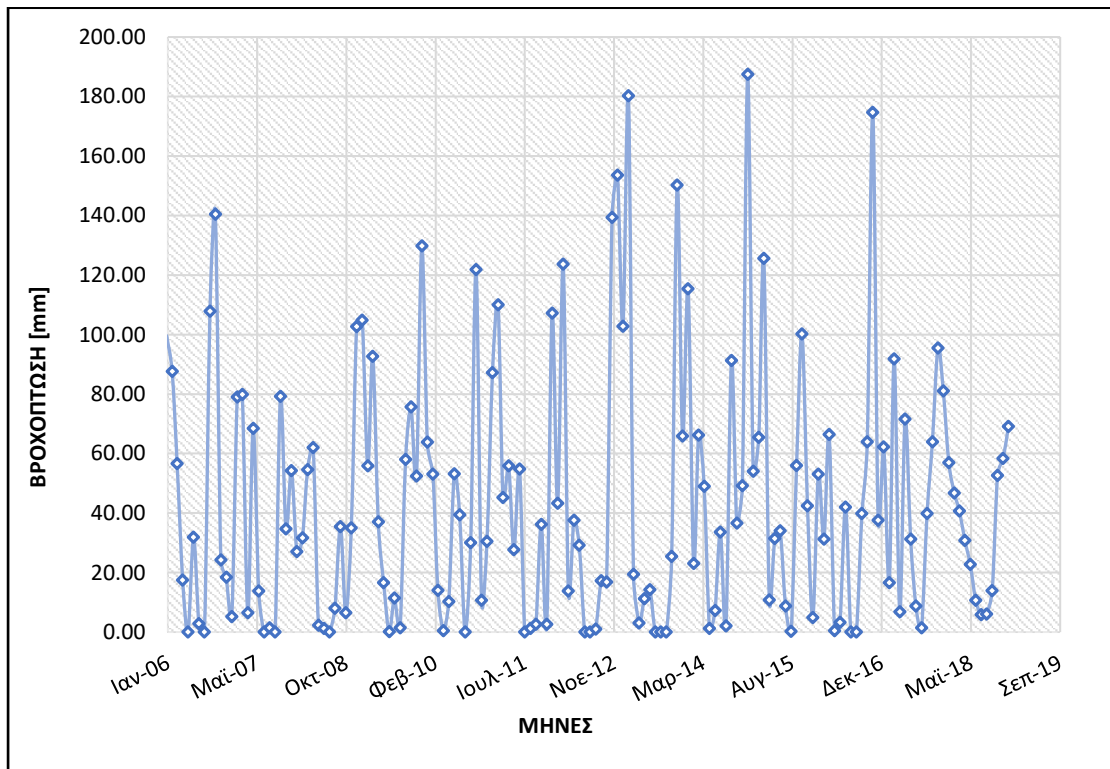
Αρχικά, έγινε η επεξεργασία και συμπλήρωση των κενών από τις ιστορικές χρονοσειρές για τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία. Έπειτα, δημιουργήθηκε μία χρονοσειρά ποιότητας (BOD) σε μηνιαίο βήμα με βάση τις δειγματοληψίες στο Φυτόριο. Τέλος, έγινε η κατασκευή της χρονοσειράς ζήτησης για την άρδευση των φυτών της εγκατάστασης.

5.2.1 Οι χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι συγκεκριμένες χρονοσειρές προήλθαν ως δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Μ.Π (www.hoa.ntua.gr). Καθώς οι χρονοσειρές παρουσίαζαν κενά ήταν σκόπιμο αυτά να συμπληρωθούν πριν την χρησιμοποίησή τους. Η συμπλήρωση έγινε με τη μέθοδο της μέσης τιμής. Έστω ότι για τη χρονοσειρά βροχόπτωσης των περιόδων 2006-2018 (13 έτη) λείπει η τιμή της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης του Μαΐου 2007. Αυτή υπολογίζεται ως η μέση τιμή των βροχοπτώσεων του Μαΐου για τα υπόλοιπα έτη. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και ο υπολογισμός των τυχών κενών στη χρονοσειρά της θερμοκρασίας. Τελικά, οι συμπληρωμένες χρονοσειρές φαίνονται στα σχήματα 5.1 και 5.2.



Σχήμα 5.1 Η μέση μηνιαία θερμοκρασία (σε °C) για τη περίοδο 2006 – 2018 από το σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου



Σχήμα 5.2 Η μέση μηνιαία βροχόπτωση (σε mm) για τη περίοδο 2006 – 2018 από το σταθμό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

5.2.2 Η χρονοσειρά συγκέντρωσης του BOD

Στα πλαίσια της προσομοίωσης του UWOT η χρονοσειρά ποιότητας των λυμάτων του αποχετευτικού δικτύου της ΕΥΔΑΠ αναφέρεται στο δείκτη BOD. Με δεδομένα από τις δειγματοληψίες υπολογίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των λυμάτων όσον αφορά τη συγκεκριμένη παράμετρο τα οποία φαίνονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Στατιστικά χαρακτηριστικά BOD των εισερχόμενων λυμάτων

Μέση Τιμή (Average)	253 mg/L
Τυπική Απόκλιση (St. Deviation)	69 mg/L
Μέγιστο (max)	383 mg/L
Ελάχιστο (min)	142 mg/L

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε στο Excel χρονοσειρά συγκέντρωσης BOD υποθέτοντας πως η ποιότητα των λυμάτων σε μηνιαία βάση ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 253 mg/L και τυπική απόκλιση 69 mg/L.

5.2.3 Η χρονοσειρά ζήτησης αρδευτικού νερού

Σύμφωνα με του Doorenbos & Pruitt (1977), οι ανάγκες σε νερό για άρδευση μίας καλλιέργειας είναι η συνολική ποσότητα νερού που πρέπει να δοθεί για άρδευση σε μεγάλη έκταση με επαρκή εδαφική υγρασία και γονιμότητα και επιτυγχάνει το μέγιστο δυναμικό παραγωγικότητας.

Η βροχή που πέφτει στην έκταση κατά ένα μέρος της χάνεται ως επιφανειακή απορροή και κατείδυση. Οτι απομένει αποτελεί την ενεργό βροχόπτωση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών των φυτών. Το υπόγειο νερό δύναται επίσης να συμβάλλει στην κάλυψη των υδάτινων αναγκών ανάλογα με το βάθος που βρίσκεται η υπόγεια στάθμη και τα χαρακτηριστικά του υπερκείμενου εδάφους. Εάν, οι παραπάνω πηγές δεν είναι επαρκείς για να καλύψουν την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (δηλαδή το νερό που μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα λόγω της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από τις υδάτινες επιφάνειες), τότε κρίνεται αναγκαίο να δοθεί πρόσθετο νερό.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των καθαρών αναγκών σε αρδευτικό νερό βασίστηκε στην παραπάνω θεωρία.

5.2.3.1 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής

Για τον υπολογισμό της δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Blaney – Criddle. Σύμφωνα με αυτή η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται άμεσα από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του αέρα και του ποσοστού ωρών της ημέρας του μήνα. Η σχέση που την περιγράφει είναι η εξής (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012).

$$ET = k \frac{(1.8T + 32)p}{3.94} \quad (5.1)$$

όπου, ET η Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή σε mm

k ένας εμπειρικός συντελεστής φύτευσης (διαφορετικός για κάθε καλλιέργεια)

T η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}C$

p το ποσοστό των ωρών της ημέρας του μήνα

Ο υπολογισμός έγινε για τη περίοδο 2006 – 2018 για την οποία υπήρχε ως δεδομένο η χρονοσειρά μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών. Για τον συντελεστή φύτευσης εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις : στην πρώτη θεωρήθηκαν οπωροφόρα φυτά και στη δεύτερη μηδική καλλιέργεια (τριφύλλια). Οι συντελεστές φύτευσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Μιμίκου & Μπαλάς, 2012).

Πίνακας 5.4 Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές καλλιέργειών (σχέση Blaney – Criddle)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
M¹	0,35	0,45	0,6	0,7	0,85	0,95	1,00	1,00	0,95	0,80	0,55	0,30
O²	-	-	0,23	0,45	0,70	0,85	0,88	0,85	0,47	0,20	-	-

Για τον υπολογισμό του μέσου ημερήσιου ποσοστού της συνολικής διάρκειας των ωρών ημέρας χρησιμοποιήθηκε το Σχήμα 5.3.

Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρ.	Απρ.	Μαΐ.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48°	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46°	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

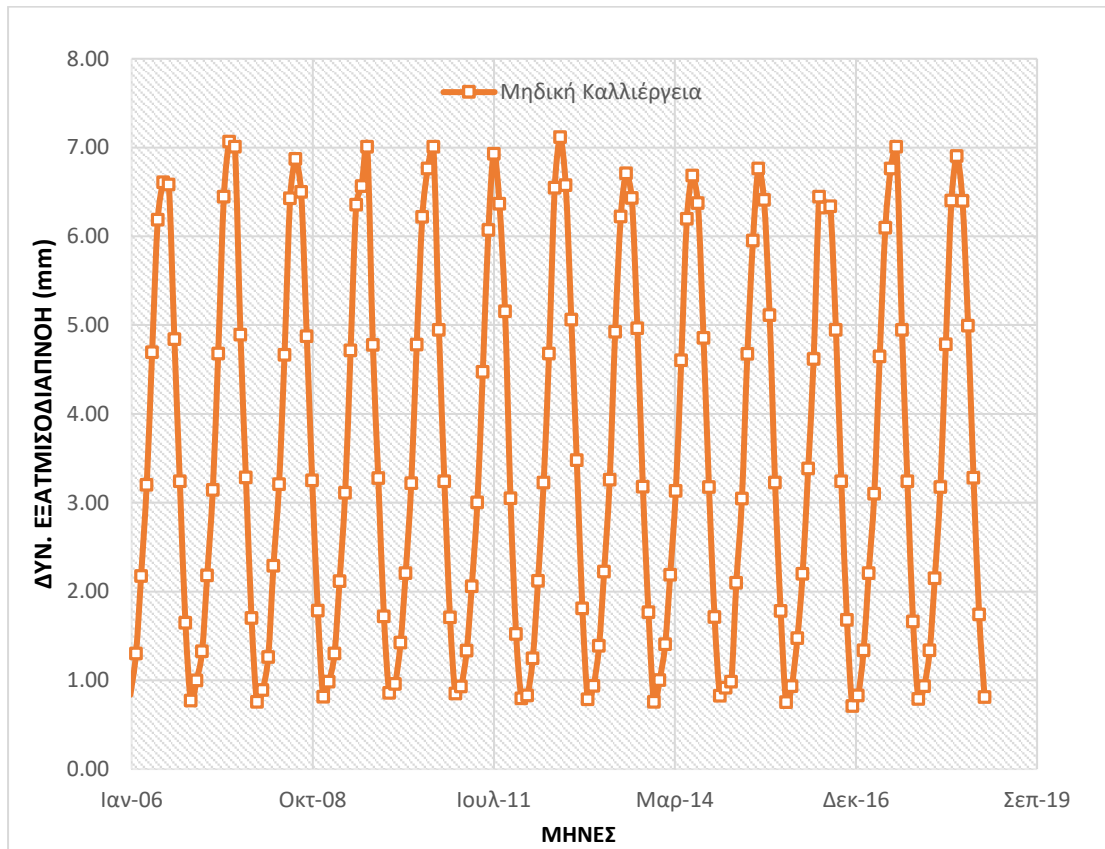
Σχήμα 5.3 Πίνακας υπολογισμού του p για διαφορετικά Γεωγραφικά Πλάτη (Πηγή: Παναγούλια & Δήμου, 2000)

Για την περιοχή του Φυτωρίου θεωρήθηκαν: Γ. Πλάτος = $38,9^\circ \approx 40^\circ$ και Γ. Μήκος = $23,77^\circ$, οπότε από τον πίνακα λήφθηκαν οι κατάλληλες τιμές.

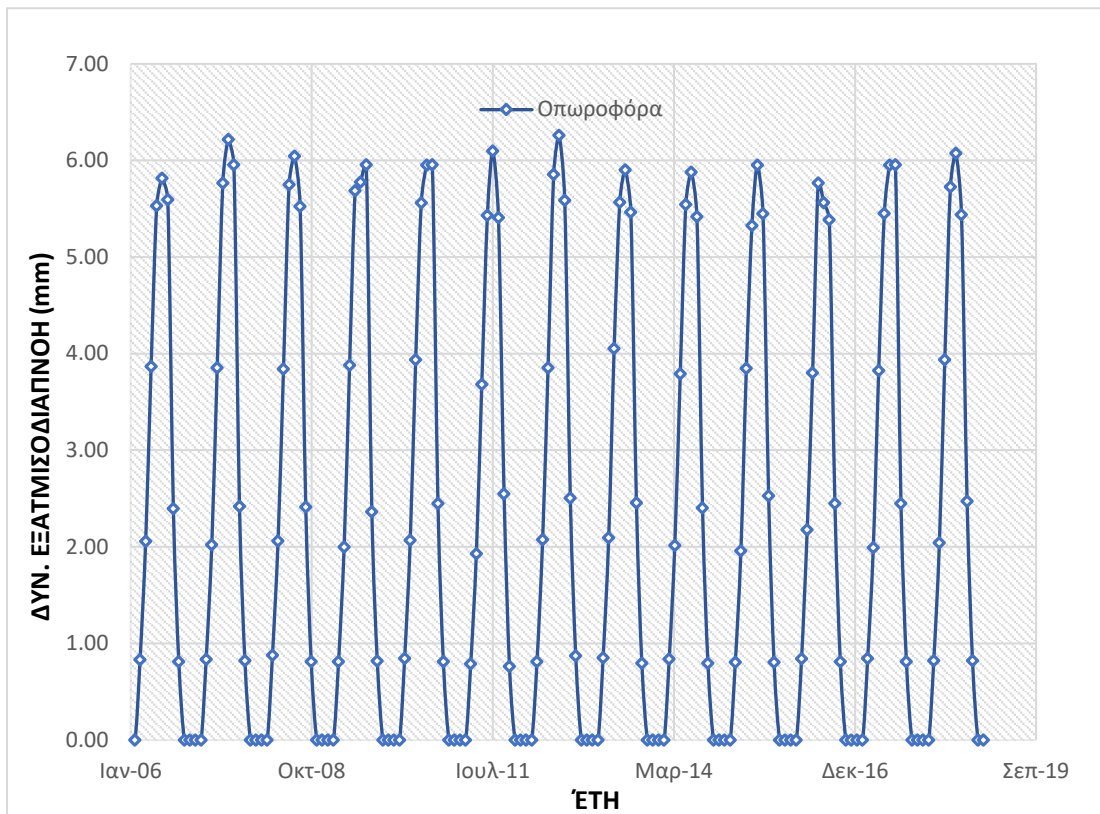
¹ Μηδική Καλλιέργεια

² Οπωροφόρα

Με βάση τα παραπάνω η υπολογισμένη δυνητική εξατμισοδιαπνοή φαίνεται στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 5.2. και 5.3.). Όπως είναι λογικό παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές του καλοκαιρινούς μήνες, όταν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη με αποτέλεσμα τόσο η εξατμηση του νερού από τις υδάτινες επιφάνειες όσο και η διαπνοή των φυτών να είναι εντονότερη.



Σχήμα 5.4 Διάγραμμα Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής για Μηδική Καλλιέργεια



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής για Οπωροφόρα Φυτά

5.2.3.2 Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό

Όπως προαναφέρθηκε, στη φύση το νερό που απαιτείται από τις καλλιέργειες για την ανάπτυξή τους προέρχεται από την ενεργό βροχόπτωση P_e , τη συμβολή του υπόγειου νερού GW και του νερού που είναι αποθηκευμένο στο υπόστρωμα SM προσαυξημένο κατά την ποσότητα L για την έκπλυση των αλάτων.

Οπότε οι (θεωρητικές) καθαρές ανάγκες σε νερό είναι :

$$IR_n = ET - (P_e + GW + SM) + L \quad (5.2)$$

Για τον υπολογισμό της ενεργού βροχόπτωσης για την περίοδο 2006 – 2018 χρησιμοποιήθηκε ο τύπος :

$$P_e = P - (c + 0.125P) \quad (5.3)$$

όπου, P_e η ενεργός βροχόπτωση

P η βροχόπτωση

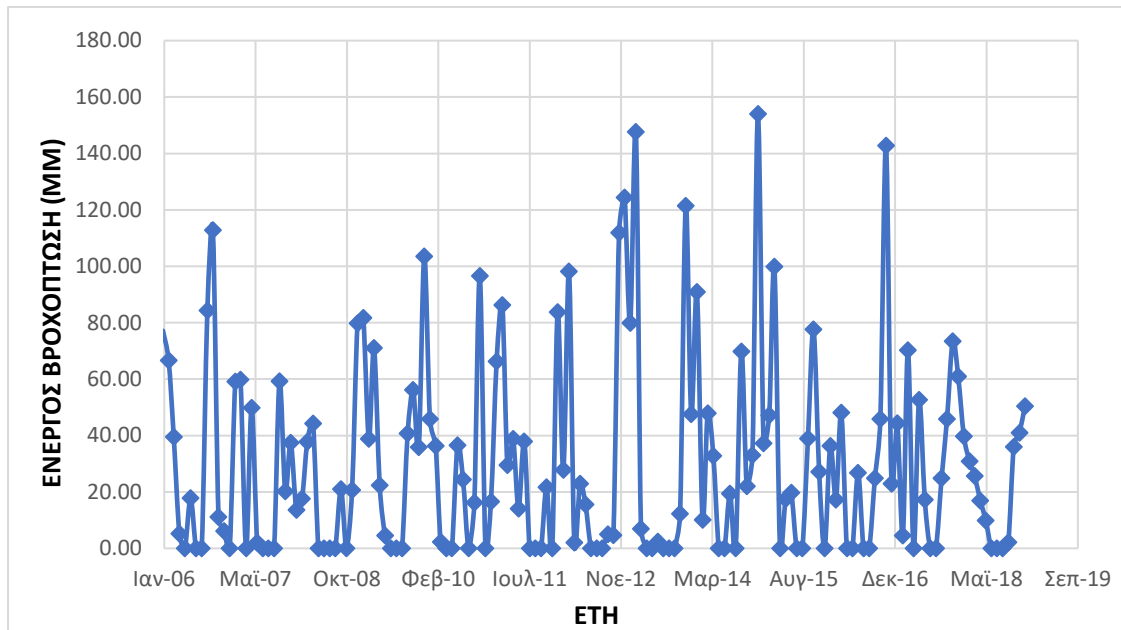
c ένας εμπειρικός συντελεστής που για πεδινές περιοχές (όπως στη περίπτωση μας)

λαμβάνεται ίσο με 10

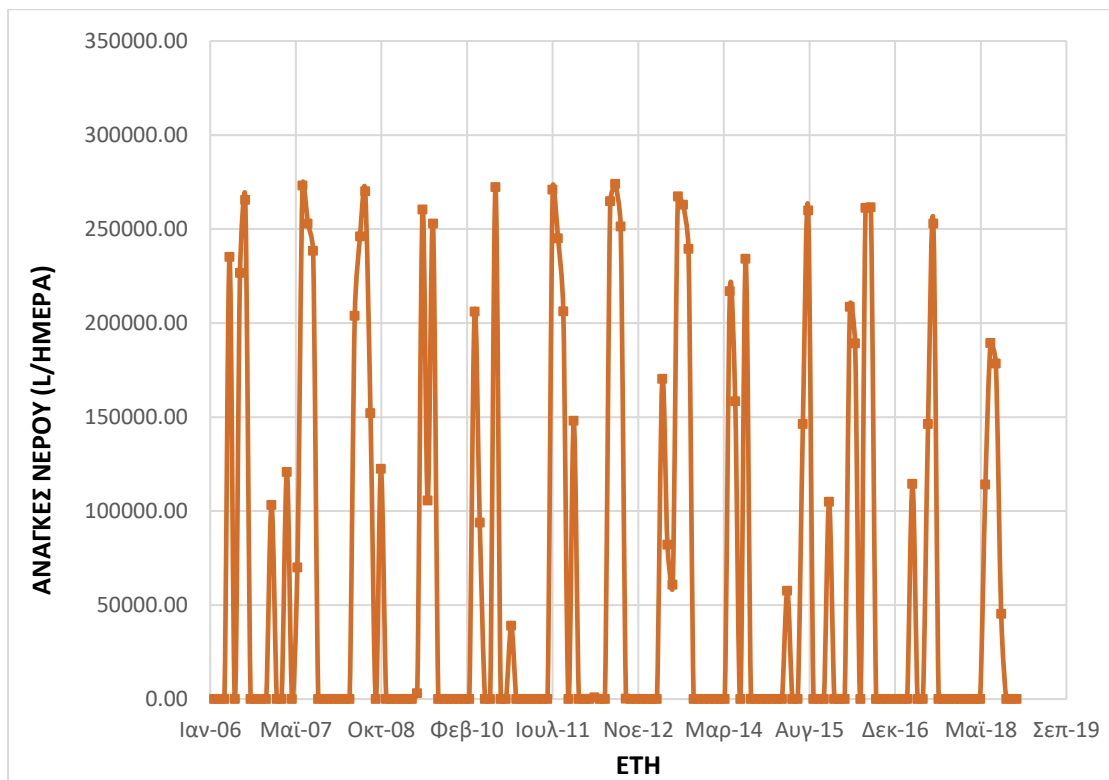
Επιπρόσθετα, θεωρήθηκε ως προς το δυσμενέστερο ότι η συμβολή του υπόγειου νερού και του αποθηκευμένου στο υπόστρωμα νερού, ως προς την κάλυψη των αναγκών νερού των φυτών, είναι μηδενική. Άρα οι ανάγκες του νερού προκύπτουν τελικά από τη σχέση :

$$IR_n = ET - P_e \quad (5.4)$$

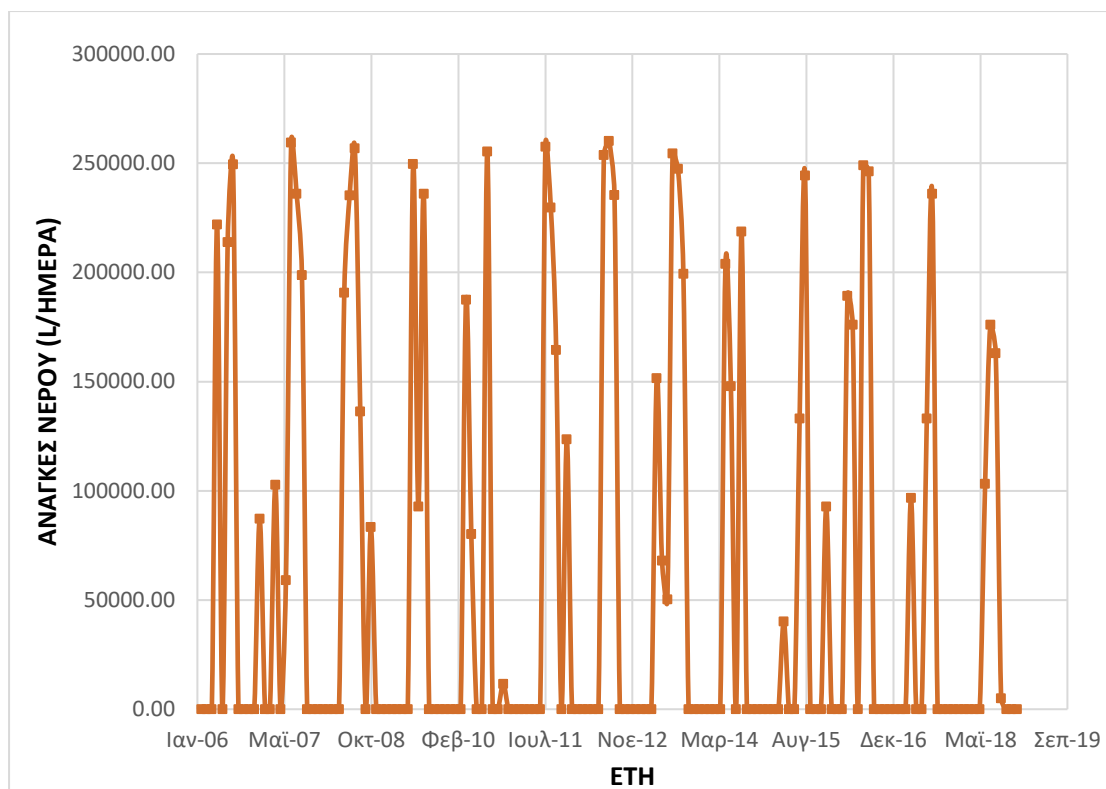
Οι υπολογισμοί έγιναν σε υπολογιστικό φύλλο του προγράμματος Office Excel και παρακάτω δίνονται τα παραγόμενα διαγράμματα.



Σχήμα 5.6 Η Ενεργός βροχόπτωση για τα έτη 2006 – 2018



Σχήμα 5.7 Οι ανάγκες σε νερό (μηδική) για τα έτη 2006 – 2018



Σχήμα 5.8 Οι ανάγκες σε νερό (οπωροφόρα) για τα έτη 2006 – 2018

Από τα παραπάνω είναι δυνατόν να παρατηρηθεί ότι τα διαγράμματα των αναγκών παρουσιάζουν αντίστροφη πορεία από αυτό της ενεργούς βροχόπτωσης όπως είναι λογικό. Σε περιόδους που η βροχή που φτάνει στις καλλιέργειες είναι μειωμένη, η ανάγκη για εξωτερική άρδευση αυξάνεται ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε περιόδους που οι βροχές είναι εντονότερες.

Για την προσομοίωση του UWOT επιλέχθηκε τελικά να χρησιμοποιηθεί η χρονοσειρά ζήτησης νερού (ή αναγκών σε νερό άρδευσης) που αναφέρεται στα οπωροφόρα δέντρα γιατί παρουσίαζε τιμές πιο κοντά σε αυτές που σύμφωνα με το Φυτόριο παρατηρούνται στην πραγματικότητα. Πράγματι, από τα προηγούμενα έχει αναφερθεί ότι η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού στο φυτώριο είναι $250 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ (στην αιχμή). Από το Σχήμα 5.7 προκύπτει ότι οι μέγιστες μέσες ημερήσιες ανάγκες σε νερό είναι λίγο παραπάνω από $250.000 \text{ L}/\text{ημ}$ (ή $250 \text{ m}^3/\text{ημ}$), ενώ στο σχήμα 5.8. οι μέγιστες μέσες ημερήσιες ανάγκες σε νερό είναι της τάξης των $270.000 \text{ L}/\text{ημ}$.

5.3 Δημιουργία Μοντέλου

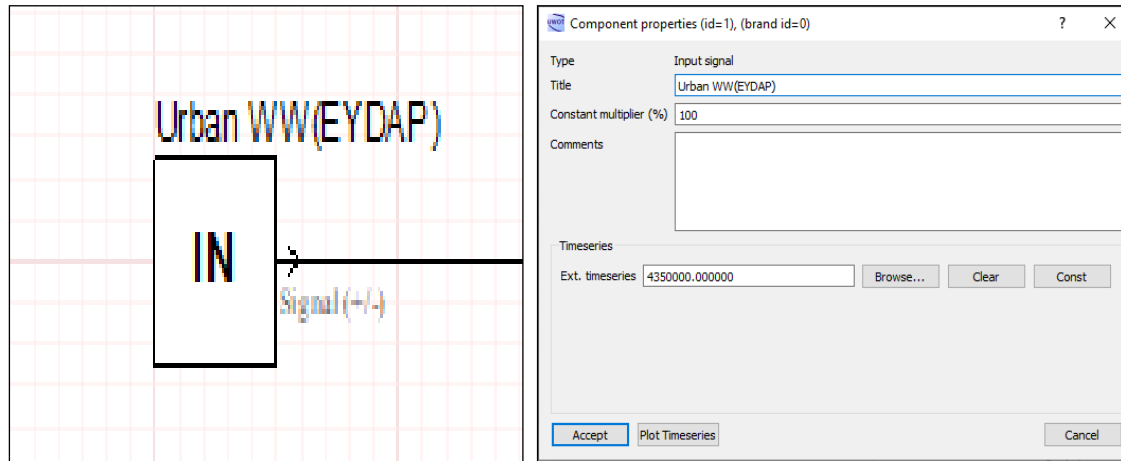
5.3.1 Προσομοίωση μίας μονάδας Sewer Mining

Το πρώτο μοντέλο που σχεδιάστηκε περιλαμβάνει μία μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων, όπως προβλέπεται να υλοποιηθεί στην πραγματικότητα. Η διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου στο περιβάλλον του UWOT περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Προηγουμένως, αξίζει να αναφερθεί πως το UWOT δουλεύει σε μονάδες L και L/dt όπου dt είναι το χρονικό βήμα της προσομοίωσης, το οποίο στην περίπτωση της εργασίας είναι μηνιαίο.

Η βασική ροή του νερού στην εγκατάσταση ξεκινάει με τα λύματα που φτάνουν στο φρεάτιο πλησίον της μονάδας. Για την προσομοίωση του σήματος εισροής των λυμάτων χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο (IN) το οποίο όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα

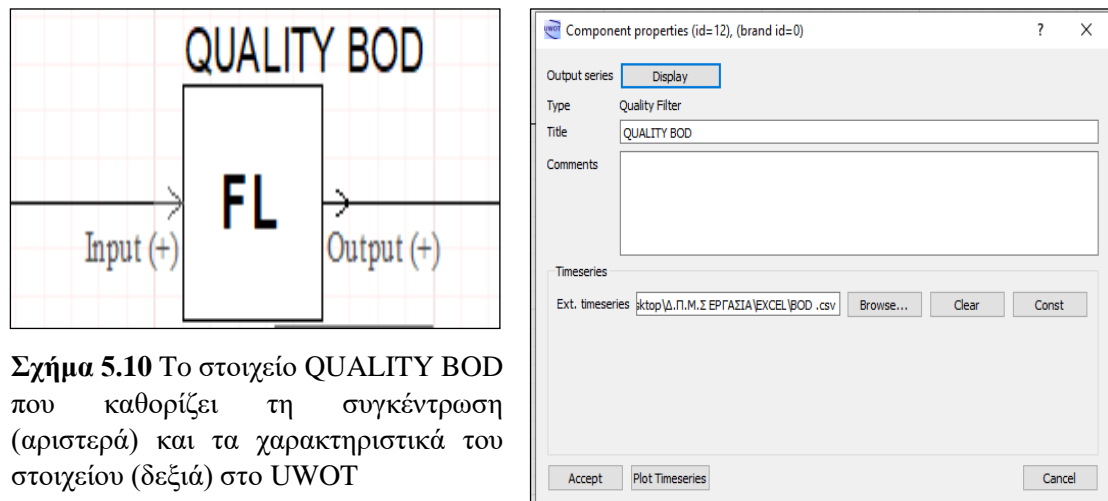
καθορίζει την ποσότητα του σήματος είτε μέσω μίας εξωτερικής χρονοσειράς, είτε μίας σταθερής τιμής.

Στη περίπτωση της παροχής των λυμάτων καθορίστηκε σταθερή τιμή $Q = 145 \text{ m}^3/\eta\mu. = 145.000 \text{ L}/\eta\mu = 145.000 * 30 \text{ L}/\mu\eta\text{να} = 4.350.000 \text{ L}/\mu\eta\text{να}$.

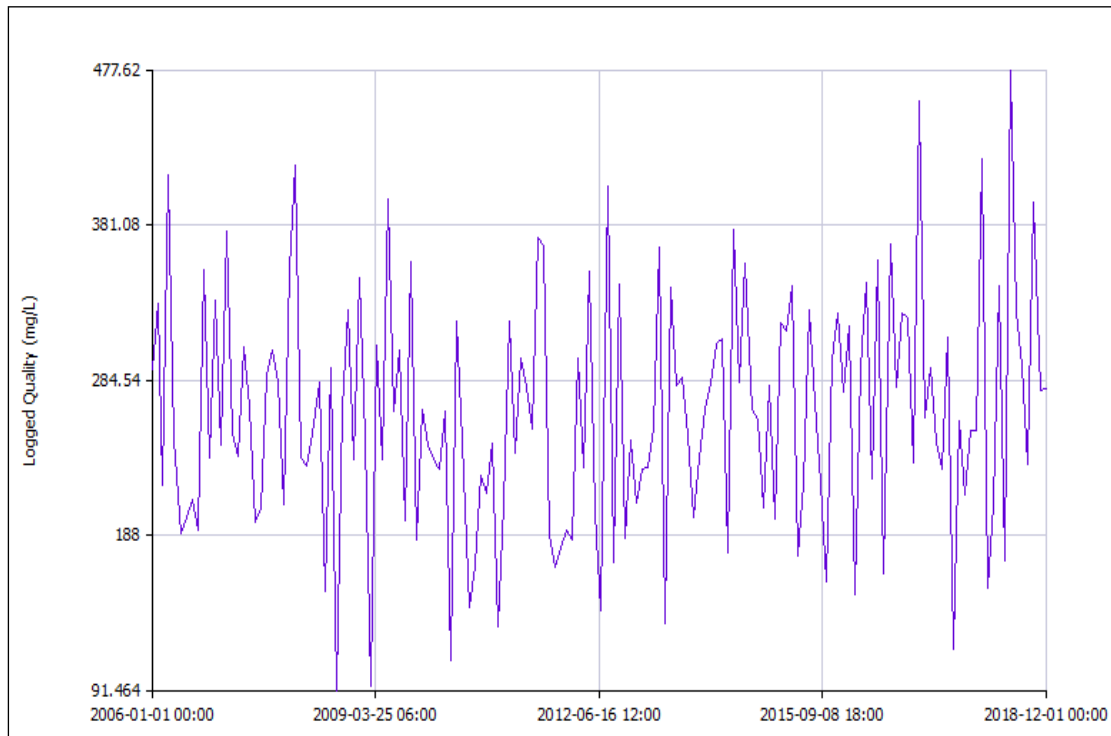


Σχήμα 5.9 Το στοιχείο Urban WW(EYDAP) που προσομοιώνει τα εισρεόντα λύματα (αριστερά) και τα χαρακτηριστικά του στοιχείου (δεξιά) στο UWOT

Για να καθορισθεί η ποιότητα του σήματος των λυμάτων εισήχθει το στοιχείο (FL). Το συγκεκριμένο στοιχείο δεν επηρεάζει την ποσότητα του σήματος αλλά καθορίζει την ποιότητα του, είτε με βάση κάποια εξωτερική χρονοσειρά είτε κάποια σταθερή τιμή. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η κατασκευασμένη χρονοσειρά συγκέντρωσης του BOD που περιγράφηκε στην §5.2.2, η οποία φαίνεται σε μορφή διαγράμματος στο σχήμα 5.11.

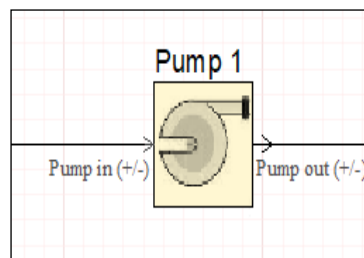


Σχήμα 5.10 Το στοιχείο QUALITY BOD που καθορίζει τη συγκέντρωση (αριστερά) και τα χαρακτηριστικά του στοιχείου (δεξιά) στο UWOT



Σχήμα 5.11 Η χρονοσειρά συγκέντρωσης BOD των εισερχόμενων λυμάτων στο UWOT

Πριν τη μονάδα τοποθετήθηκε αντλία για την τροφοδότηση των λυμάτων σε αυτή, μέσω του στοιχείου PUMP 1. Τα χαρακτηριστικά της αντλίας (χωρητικότητα 50 m³/day) φαίνονται στα σχήματα 5.12. και 5.13

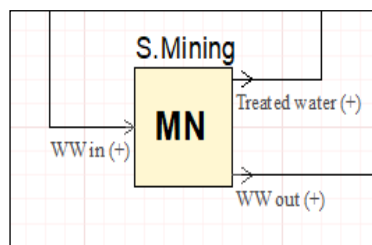


Σχημα 5.12 Το στοιχείο Pump 1 στο περιβάλλον του UWOT

no	Descr	i	j	value	unit
1	Energy Use	1	1	4e-06	kWh/L/m
2	Capital Cost	1	1	3242	pounds
3	Operational Cost	1	1	324.2	pounds/year
4	Capital cost reference year	1	1	2015	
5	Cap.cost date	1	1	1.262304e+09	s
6	Op.cost date	1	1	1.262304e+09	s

Σχημα 5.13 Τα χαρακτηριστικά του στοιχείου Pump 1 στο UWOT

Η μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων (Sewer Mining) προσομοιώνεται με το αντίστοιχο στοιχείο (MN). Τα λύματα που φεύγουν από την αντλία εισέρχονται στην μονάδα (WW in), ενώ στην έξοδο της προκύπτουν δύο ροές: το επεξεργασμένο νερό (Treated water) και τα υπολειπόμενα λύματα (WW out). Προκειμένου να καθορισθεί η χωρητικότητα της μονάδας έγινε η δημιουργία ενός νέου *brand*, με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Μέσω της εντολής *Project* της μπάρας εργασιών ανοίγει ένα παράθυρο με τις διάφορες τεχνολογίες που μπορεί να προσομοιώσει το πρόγραμμα. Επιλέγοντας την τεχνολογία Sewer Mining και την εντολή *Specs*, ανοίγει ένα νέο παράθυρο με τα χαρακτηριστικά της μονάδας. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει κυρίως η χωρητικότητα της, η οποία τέθηκε 25.000 L/ημέρα.

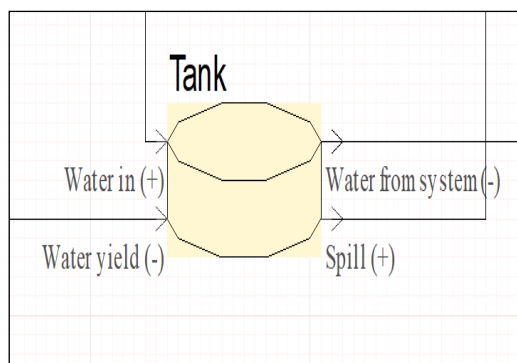


Σχημα 5.14 Το στοιχείο S. Mining στο περιβάλλον του UWOT

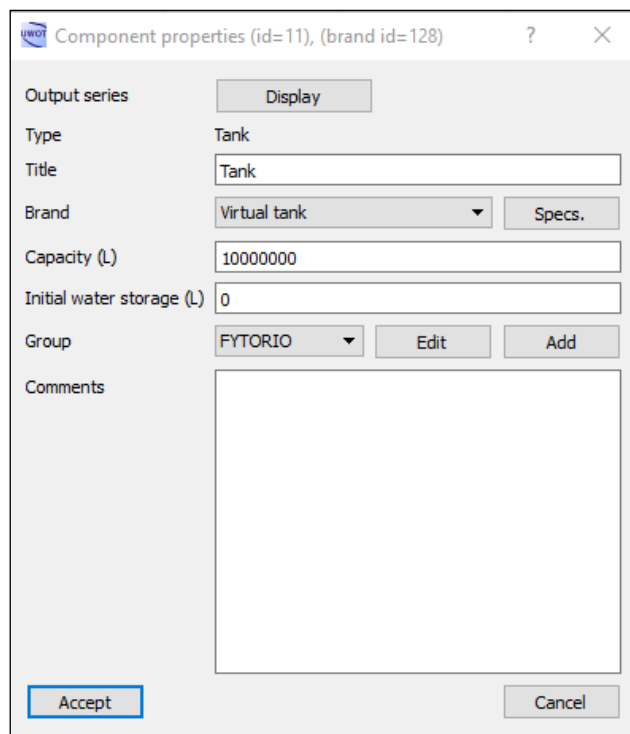
no	Descr	i	j	value	unit
1	Water Usage/capacity	1	1	25000	L/d
2	Water Loss	1	1	0.3	0 to 1
3	Energy Use	1	1	0.005	kWh/L
4	Capital Cost	1	1	2000	pounds
5	Operational Cost	1	1	230	pounds/year
6	Cap.cost date	1	1	1.29384e +09	s
7	Op.cost date	1	1	1.29384e +09	s

Σχημα 5.15 Τα χαρακτηριστικά του στοιχείου S. Mining στο UWOT

Η ροή του επεξεργασμένου νερού οδηγείται σε μία εικονική δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης. Η προσομοίωση της δεξαμενής γίνεται μέσω του στοιχείου (TN). Στη δεξαμενή παρατηρούνται τέσσερις διαφορετικές ροές (βλ. σχήμα 5.16): η ροή του επεξεργασμένου νερού που τροφοδοτεί τη δεξαμενή (Water in), το νερό που αφαιρείται από τη δεξαμενή λόγω της ζήτησης από το Φυτόριο (Water yield), το νερό που φτάνει στη δεξαμενή από το σύστημα της ΕΥΔΑΠ (Water from system) και το νερό που υπερχειλίζει από τη δεξαμενή όταν αυτή γεμίσει (Spill). Εφόσον, στην πραγματικότητα το νερό της ΕΥΔΑΠ τροφοδοτείται απευθείας από τους αγωγούς και δεν αποθηκεύεται, η δεξαμενή επιλέχθηκε να έχει μέγεθος μηδενικό (όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα).



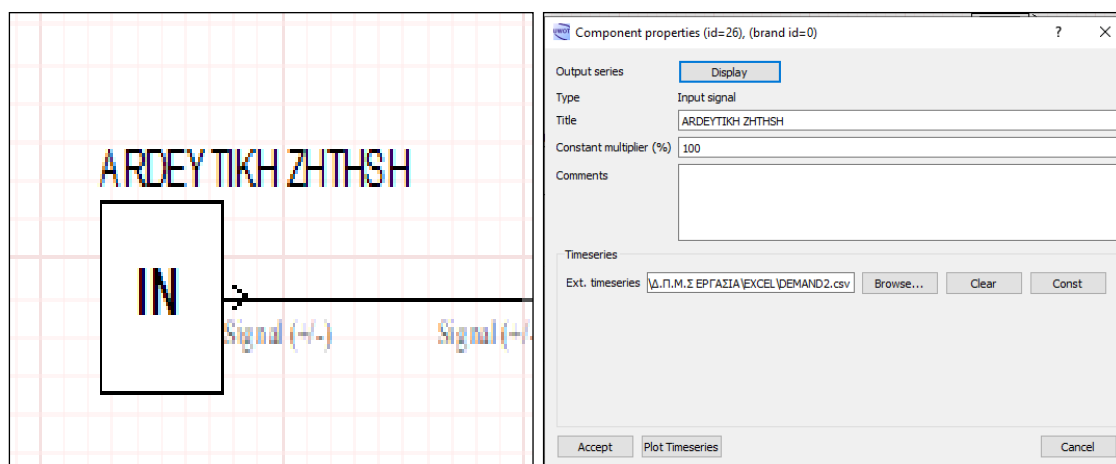
Σχημα 5.16 Το στοιχείο της εικονικής δεξαμενής TANK στο περιβάλλον του UWOT



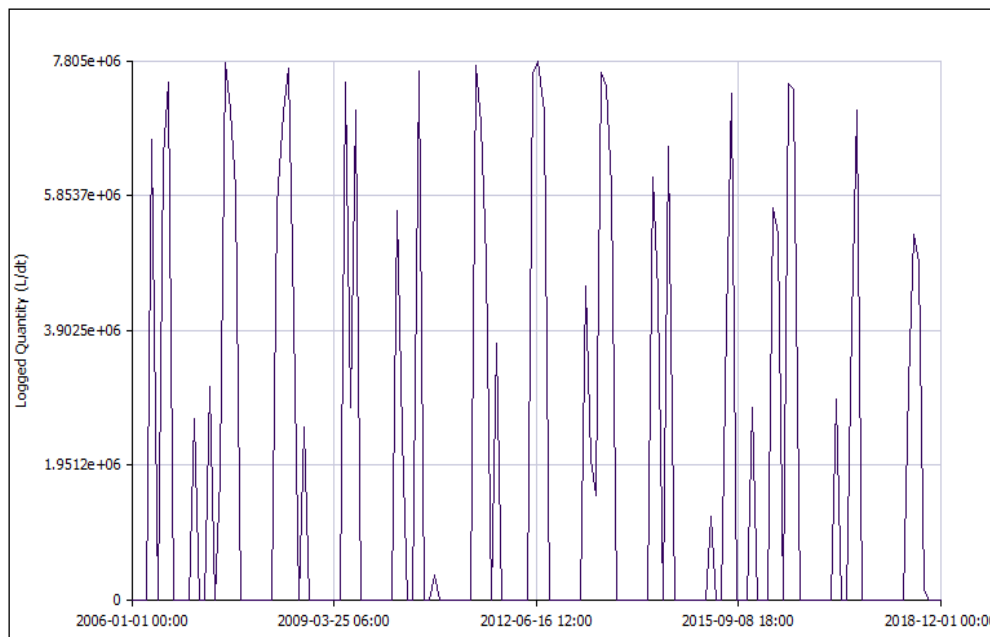
Σχημα 5.17 Τα χαρακτηριστικά της εικονικής δεξαμενής στο UWOT

Το νερό που υπερχειλίζει από τη δεξαμενή ενώνεται με το υπολειπόμενα απόβλητα της μονάδας και επιστρέφουν στο αποχετευτικό δίκτυο, από όπου τελικά καταλήγουν στην μονάδα επεξεργασίας λυμάτων και στον τελικό αποδέκτη. Παρόλο που στα πλαίσια της εργασίας η συγκεκριμένη ροή δεν μας ενδιαφέρει, εντούτοις για την προσομοίωση είναι απαραίτητο να περιγραφούν και τα παραπάνω στοιχεία ώστε να “κλείνουν” οι κύκλοι όλων των ροών. Η εγκατάσταση επεξεργασίας προσομοιώνεται με το στοιχείο CW (Centralized Wastewater) και το υδάτινο σώμα με το στοιχείο WB (Water Body).

Τέλος, δημιουργήθηκε το στοιχείο (IN) (Σχήμα 5.18) με το οποίο εισάγεται η χρονοσειρά ζήτησης νερού προς άρδευση σύμφωνα με την §5.2.3. Το διάγραμμα της παραγόμενης χρονοσειράς δίνεται στο σχήμα 5.19. Το στοιχείο (IN) ενώνεται με το στοιχείο της δεξαμενής στο οποίο στέλνει το σήμα ζήτησης νερού.

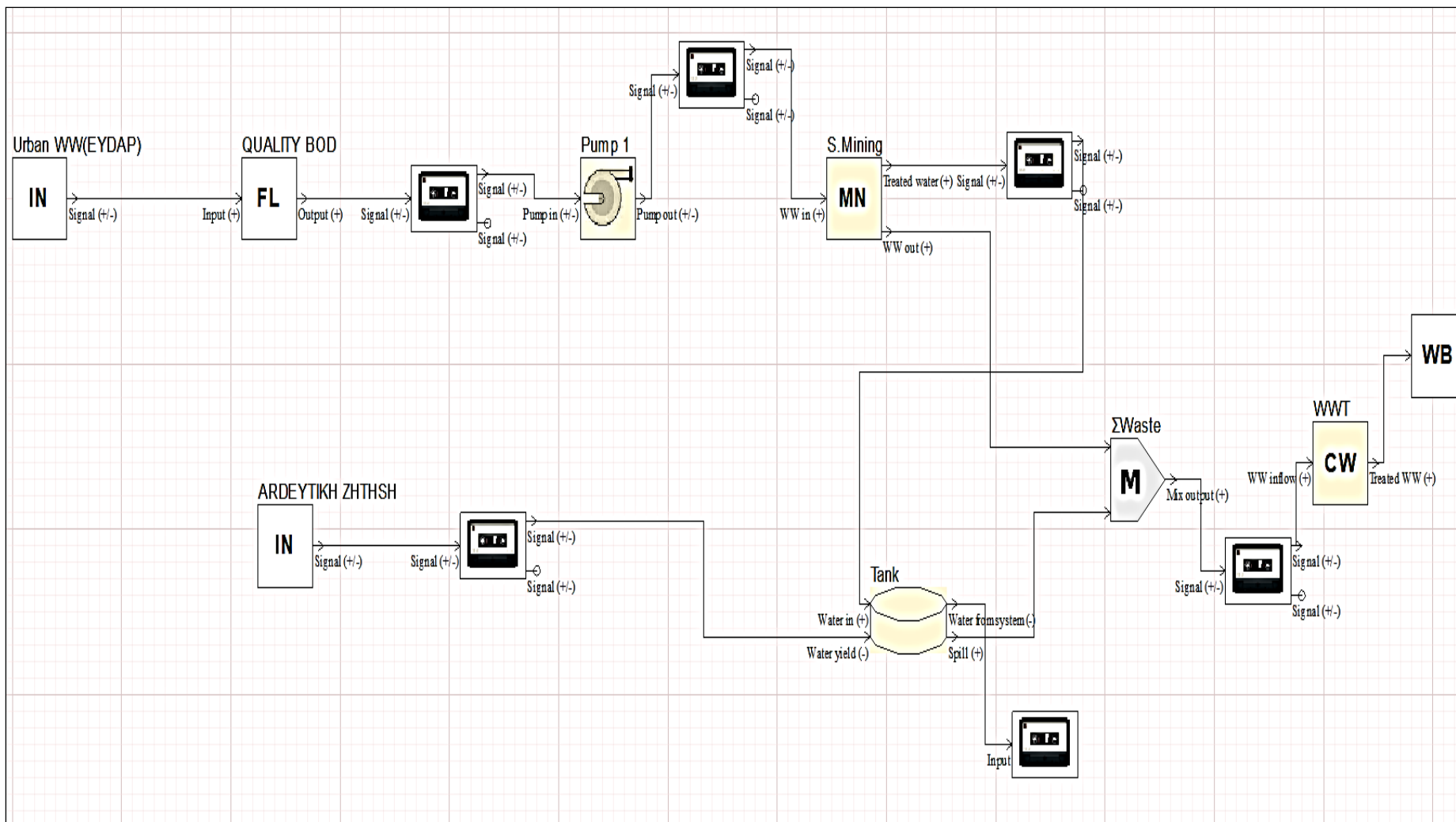


Σχημα 5.18 Το στοιχείο ARDEYTIKH ZHTHSH (αριστερά) και τα χαρακτηριστικά του στο UWOT (δεξιά)



Σχήμα 5.19 Η χρονοσειρά ζήτησης νερού από το Φυτόριο στο UWOT

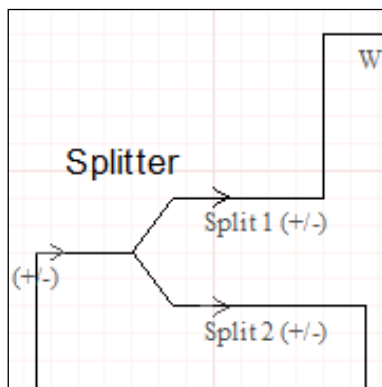
Η τελική διάταξη του μοντέλου φαίνεται στο σχήμα 5.20. Είναι χαρακτηριστικό ότι μετά από κάθε στοιχείο έχει τοποθετηθεί μετρητής (IL – In Line Logger) για να καταγράφει τα δεδομένα της προσομοίωσης.



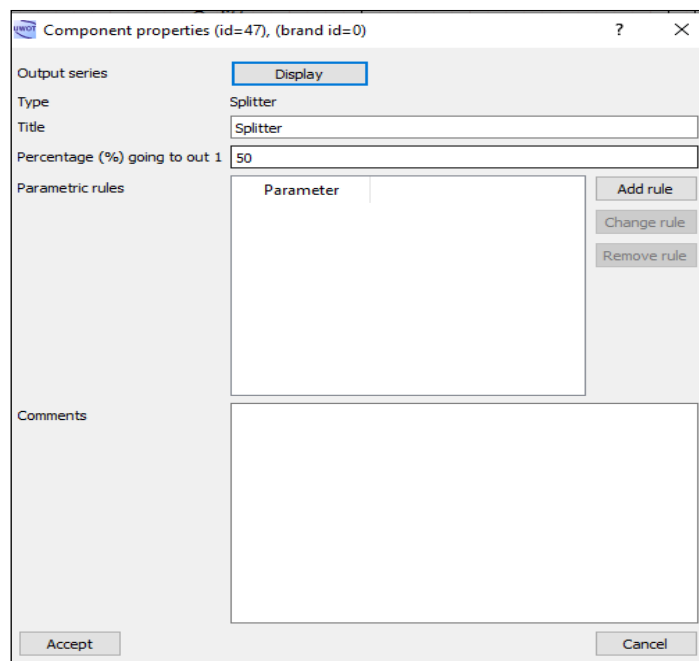
Σχήμα 5.20 Η διάταξη του UWOT μοντέλου για μία μονάδα Sewer Mining

5.3.2 Προσομοίωση δύο μονάδων Sewer Mining

Η δεύτερη προσομοίωση περιλαμβάνει 2 μονάδες οι οποίες λειτουργούν παράλληλα. Η διάταξη της εγκατάστασης είναι στο μεγαλύτερο κομμάτι πανομοιότυπη με αυτή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η διαφορά στην συγκεκριμένη διάταξη, εντοπίζεται στο γεγονός ότι πλέον υπάρχουν δύο μονάδες που τροφοδοτούνται με λύματα μέσω της αντλίας. Για την προσομοίωση αυτής της διεργασίας χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο SP (Splitter), το οποίο μοιράζει το σήμα των λυμάτων στις δύο μονάδες σε ποσοστό 50 % - 50 %.

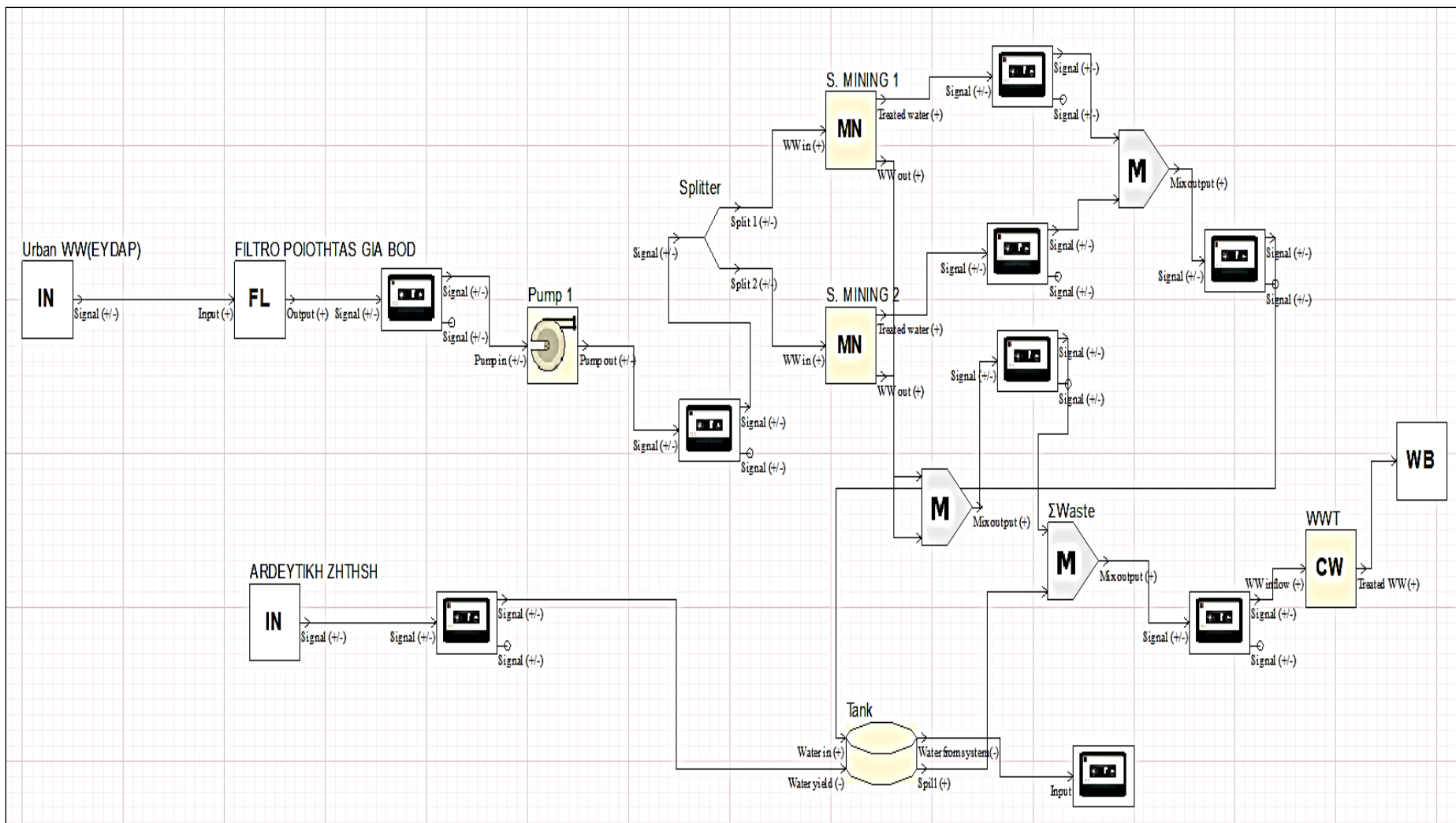


Σχημα 5.21 Το στοιχείο Splitter στο περιβάλλον του UWOT



Σχημα 5.22 Το χαρακτηριστικά του στοιχείου Splitter

Η ροή του επεξεργασμένου νερού των δύο μονάδων συγκεντρώνεται σε ένα σήμα μέσω του στοιχείου MX (Mix), το οποίο αναμιγνύει τις δύο ροές όχι μόνο ποσοτικά αλλά και ποιοτικά. Το σήμα στη συνέχεια ενώνεται με τη δεξαμενή αποθήκευσης του νερού. Επιπρόσθετα, πλέον οι ροές που επιστρέφονται στο αποχετευτικό σύστημα είναι 3: οι 2 αφορούν τα υπολειπόμενα λύματα των μονάδων Sewer Mining και η τρίτη το νερό που υπερχειλίζει από τη δεξαμενή. Η διαδικασία από εκεί και πέρα συνάδει με όσα έχουν περιγραφεί για τη διάταξη με μία μονάδα. Η τελική διάταξη της προσομοίωσης φαίνεται στο σχήμα 5.23.



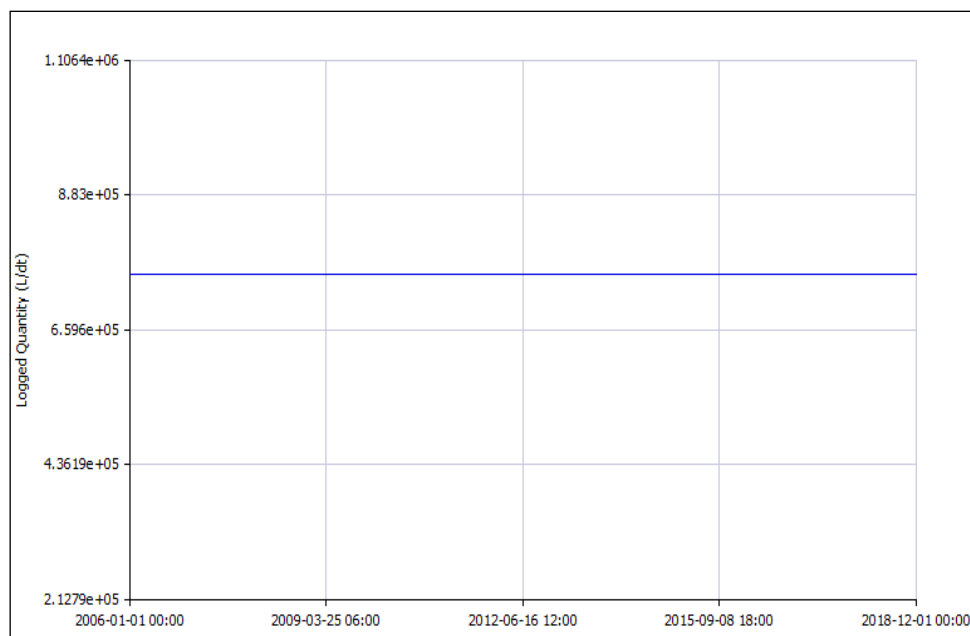
Σχήμα 5.23 Η διάταξη του UWOT μοντέλου για δύο μονάδες Sewer Mining

5.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

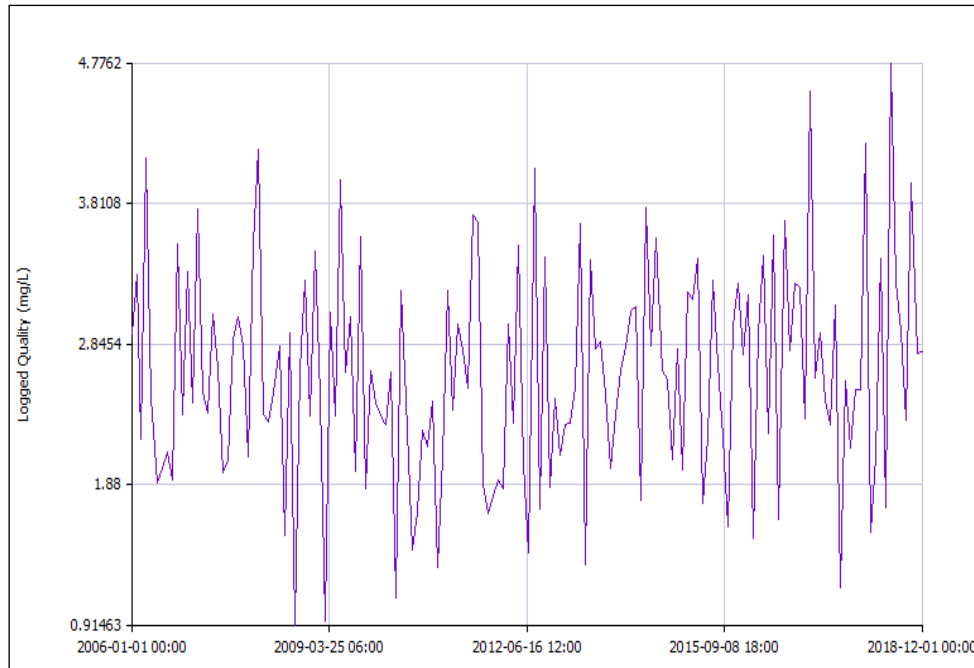
Σκοπός της προσομοίωσης ήταν να ελέγξουμε κατά πόσο το UWOT παράγει αποτελέσματα που συμβαδίζουν με τα θεωρητικά δεδομένα που έχουμε από το Φυτόριο και την ΕΥΔΑΠ. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για την περίοδο 1/1/2006 έως 1/12/2018. Επιλέχθηκε μηνιαίο χρονικό βήμα στους υπολογισμούς και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω τόσο σε μορφή διαγραμμάτων όσο και σε πίνακες.

5.4.1 Προσομοίωση μίας μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων

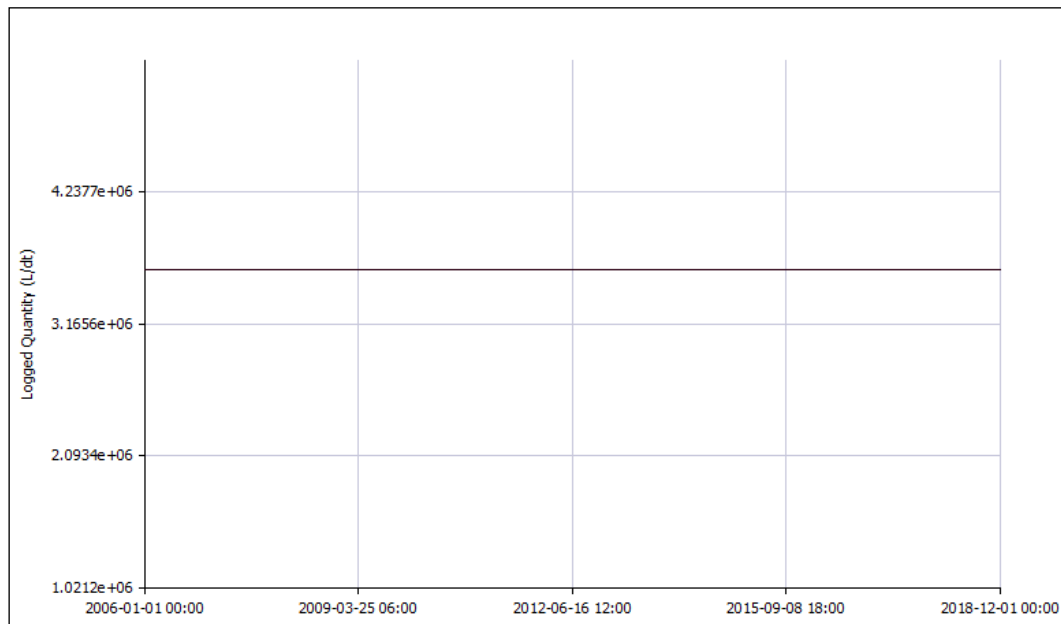
Αρχικά, παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν για την μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων. Στο σχήμα 5.21 αποτυπώνεται η παραγόμενη ποσότητα επεξεργασμένου νερού σε μηνιαία βάση, ενώ στο σχήμα 5.22 είναι η ποιότητα του παραγόμενου νερού, με βάση την συγκέντρωση του BOD. Η μονάδα παράγει σύμφωνα με την προσομοίωση 750.000 L/μήνα ή αλλιώς 25.000 L/μέρα. Όσον αφορά τη συγκέντρωση BOD, σύμφωνα με τον αλγόριθμο του UWOT, αφαιρείται κατά 99 % σε σχέση με τη συγκέντρωση των εισερχόμενων λυμάτων.



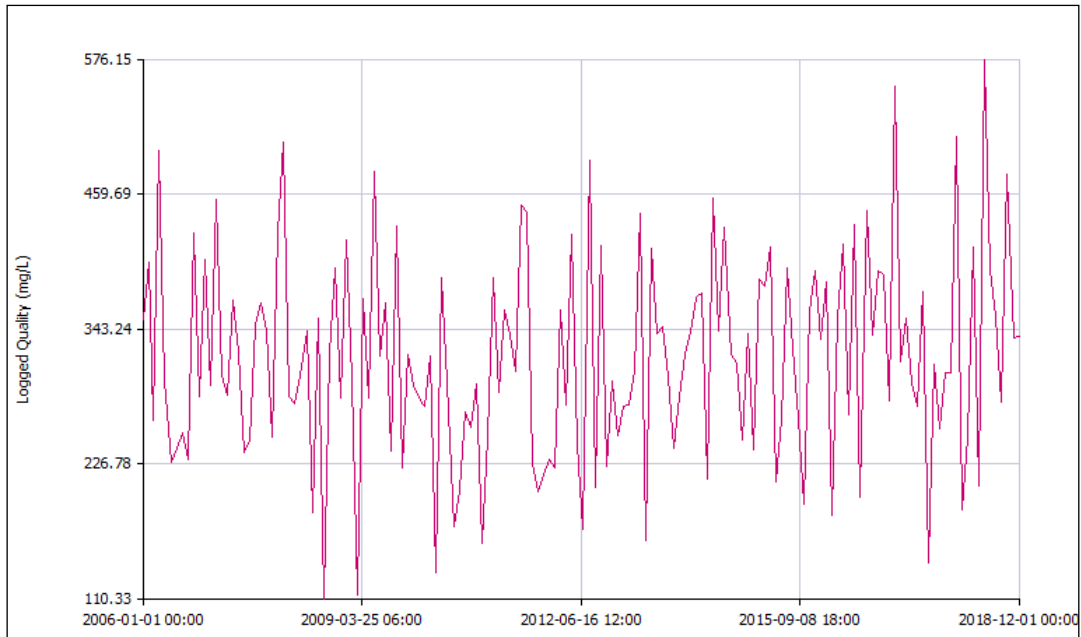
Σχήμα 5.24 Η ποσότητα παραγόμενου νερού από τη μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα



Σχήμα 5.25 Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD του παραγόμενου νερού της μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L



Σχήμα 5.26 Η ποσότητα των επιστρεφόμενων λυμάτων από τη μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα



Σχήμα 5.27 Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD των επιστρεφόμενων λυμάτων της μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L

Αντίστοιχα με την ροή του επεξεργασμένου νερού, στο σχήμα 5.23 είναι η ποσότητα του υπολειπόμενου λύματος, το οποίο δεν επεξεργάζεται η μονάδα και στο σχήμα 5.24 δίνεται η συγκέντρωση BOD των λυμάτων. Παρατηρούμε, ότι σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των εισερχόμενων λυμάτων αυτή είναι αυξημένη, αφού το UWOT προσθέτει στη ροή των λυμάτων την ιλύ που παράγεται κατά την επεξεργασία του νερού και υπολογίζει την ποιότητα σύμφωνα με τον τύπο :

$$Qql_{2t} = Iql_t * \frac{Iqn_t - 0.01Oqn_{1t}}{Oqn_{2t}} \quad (5.4)$$

όπου, Iqn και Iql η ποσότητα και η ποιότητα της εισροής (Incoming) σε L/χρ. βήμα και mg/L

Oqn_1 και Oql_1 η ποσότητα και η ποιότητα της επεξεργασμένης ροής σε L/χρ. βήμα και mg/L

Oqn_2 και Oql_2 η ποσότητα και η ποιότητα της επεξεργασμένης ροής σε L/χρ. βήμα και mg/L

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικά οι τιμές της προσομοίωσης για τον πρώτο χρόνο. (Ολόκληρος ο πίνακας δίνεται στο Παράρτημα Πίνακας 1).

Πίνακας 5.5 Ενδεικτικά αποτελέσματα UWOT για τη μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων

Χρονικό Βήμα	Παραγόμενο Νερό		Υπολειπόμενα Λύματα	
	Ποσότητα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)	Ποσότητα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)
1/1/2006	750099	2.91	3599901	350.63
1/2/2006	750099	3.32	3599901	400.29
1/3/2006	750099	2.19	3599901	263.85
1/4/2006	750099	4.12	3599901	496.66
1/5/2006	750099	2.48	3599901	298.83
1/6/2006	750099	1.89	3599901	228.57
1/7/2006	750099	1.99	3599901	240.11
1/8/2006	750099	2.10	3599901	252.73
1/9/2006	750099	1.91	3599901	230.08
1/10/2006	750099	3.53	3599901	425.98
1/11/2006	750099	2.36	3599901	285.07
1/12/2006	750099	3.34	3599901	403.31

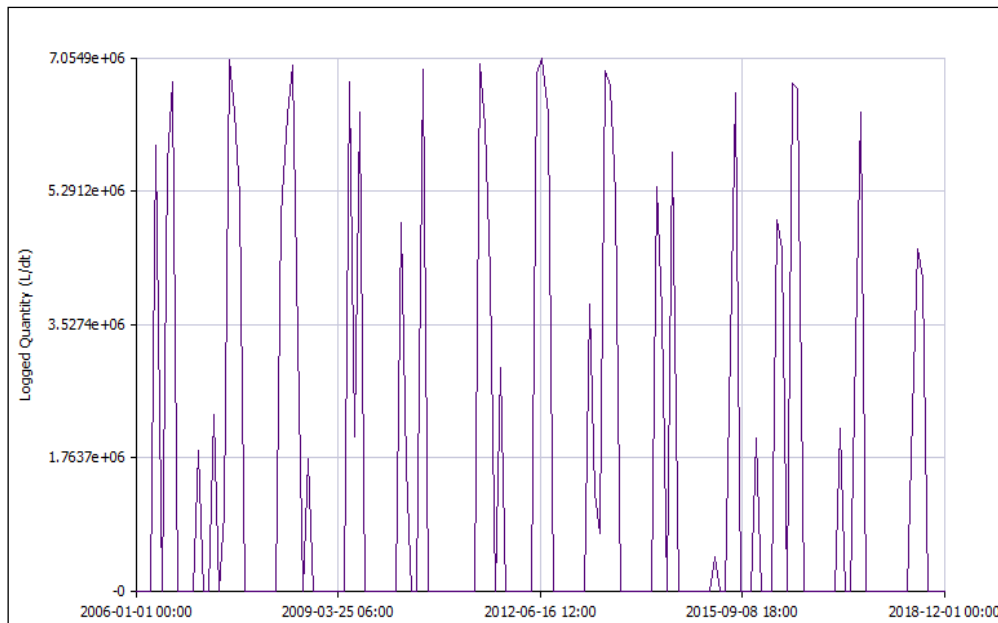
Ιδιαίτερα κρίσιμη είναι η παράμετρος της ποιότητας του παραγόμενου νερού, καθώς το νερό αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την άρδευση φυτών και ως απόρροια είναι σημαντικό να πληρεί τις προδιαγραφές ποιότητας της Ελληνικής Νομοθεσίας¹. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εκτιμώμενης συγκέντρωσης του BOD στο νερό φαίνονται στον πίνακα 5.6. Το επιτρεπόμενο όρια για αστική επαναχρησιμοποίηση ή επαναφόρτιση υπόγειων νερών είναι 10 mg/L, το οποίο όπως είναι εμφανές ικανοποιείται πλήρως.

Πίνακας 5.6 Στατιστικά χαρακτηριστικά συγκέντρωσης του BOD στην εκροή της μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων

Μέση τιμή (mg/L)	2.63
Τυπ. Απόκλιση (mg/L)	0.73
Μέγιστο (mg/L)	4.78
Ελάχιστο (mg/L)	0.91

Η ζήτηση νερού από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ φαίνεται στο σχήμα 5.25. Παρατηρούμε, ότι καθώς η χρονοσειρά αναγκών νερού του Φυτωρίου (βλ. σχήμα 5.19) είχε περιόδους (κυρίως χειμερινούς μήνες) που ήταν μηδενική, υπάρχουν αντίστοιχα περίοδοι που το νερό που ζητάει το Φυτώριο από την ΕΥΔΑΠ είναι μηδέν, σύμφωνα με την προσομοίωση. Η μέγιστη μηνιαία ζήτηση που προκύπτει έχει τιμή 7.054.895,5 L/μήνα και εντοπίζεται για Ιούνιο μήνα, που όπως είναι λογικό οι ανάγκες σε νερό είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

¹ ΚΥΑ 145116/2011



Σχήμα 5.28 Η προσομοιωμένη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα για την 1^η προσομοίωση

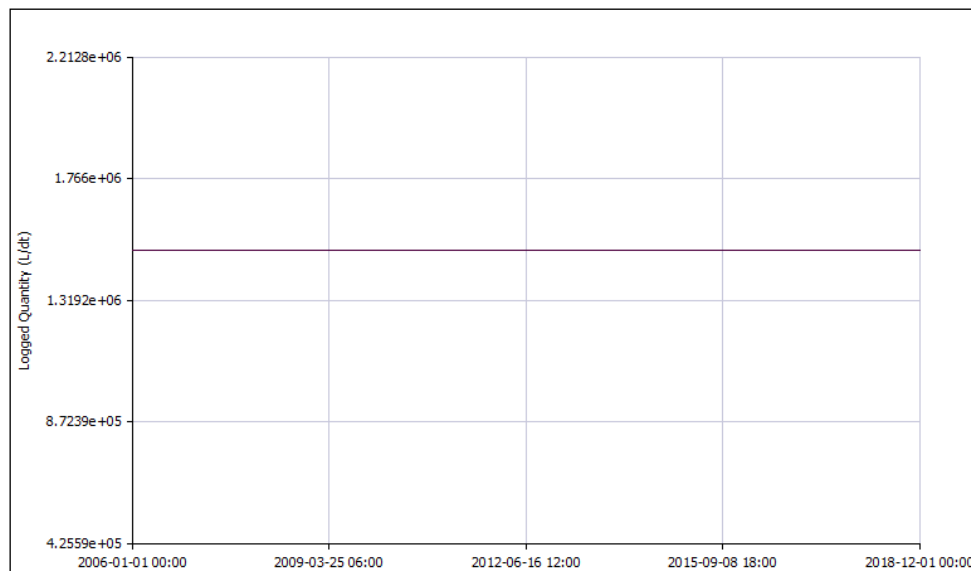
Πίνακας 5.7 Ενδεικτικά αποτελέσματα 1^{ης} προσομοίωσης για τη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα

Νερό από ΕΥΔΑΠ		
Χρονικό Βήμα	Ζήτηση από το σύστημα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BOD (mg/L)
1/1/2006	0	-1
1/2/2006	0	-1
1/3/2006	0	-1
1/4/2006	0	-1
1/5/2006	5895085	-1
1/6/2006	0	-1
1/7/2006	5654925	-1
1/8/2006	6734358.5	-1
1/9/2006	0	-1
1/10/2006	0	-1
1/11/2006	0	-1
1/12/2006	0	-1

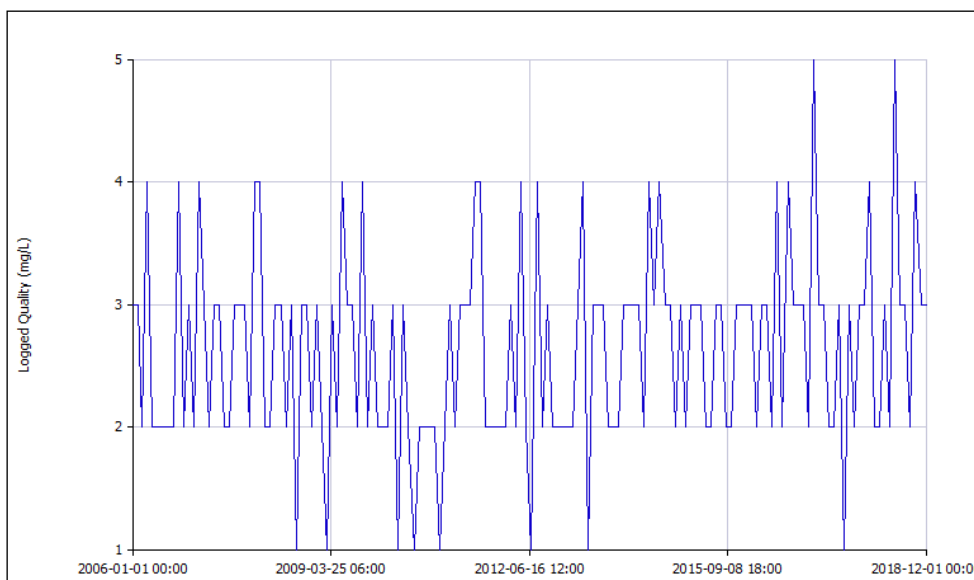
Στον πίνακα 5.7 δίνονται ενδεικτικά οι τιμές που προέκυψαν για τον πρώτο χρόνο κατά τη προσομοίωση. Σε πινακοποιημένη μορφή είναι εύκολα αντιληπτό αυτό που εξηγήθηκε παραπάνω σχετικά με τις μηδενικές ζητήσεις που προκύπτουν ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες. Επιπρόσθετα, η τρίτη στήλη που αναφέρεται στη συγκέντρωση του BOD έχει σταθερή τιμή ίση με -1, καθώς με αυτό το τρόπο το UWOT δείχνει πως η ποιότητα του νερού του συστήματος είναι πάντα εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

5.4.2 Προσομοίωση δύο μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων

Οι δύο μονάδες της δεύτερης προσομοίωσης είναι πανομοιότυπες με την μονάδα της πρώτης. Επομένως, όπως είναι λογικό, τα διαγράμματα της ποσότητας επεξεργασμένου νερού, της συγκέντρωσης BOD στο νερό, της ποσότητας μη επεξεργασμένων λυμάτων και της συγκέντρωσης BOD στα λύματα είναι ίδια με τα σχήματα 5.24, 5.25, 5.26 και 5.27. Στη συνέχεια, οι εκροές των δύο μονάδων αναμιγνύονται και τα χαρακτηριστικά της συνδυασμένης ροής φαίνονται στα επόμενα σχήματα.

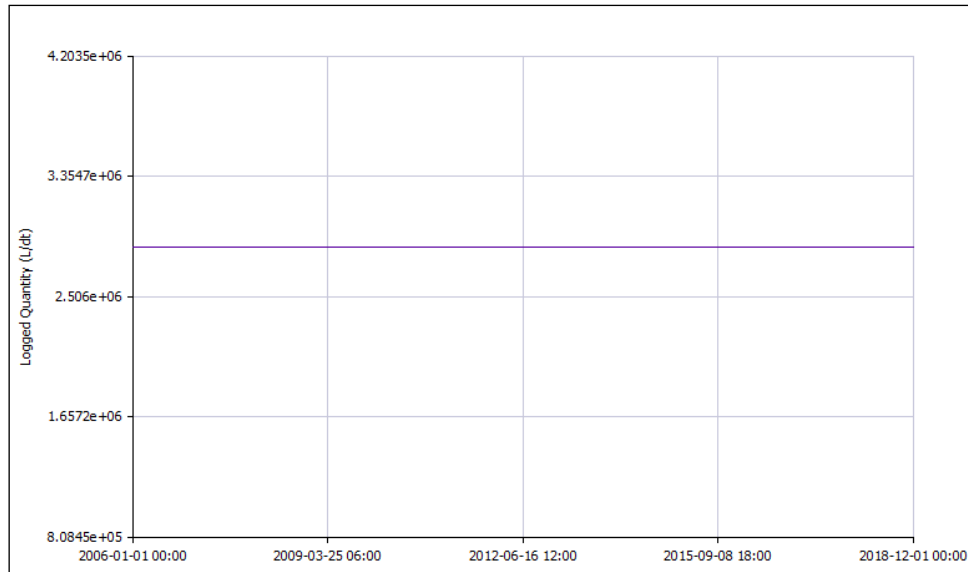


Σχήμα 5.29 Η ποσότητα παραγόμενου νερού από τις μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα

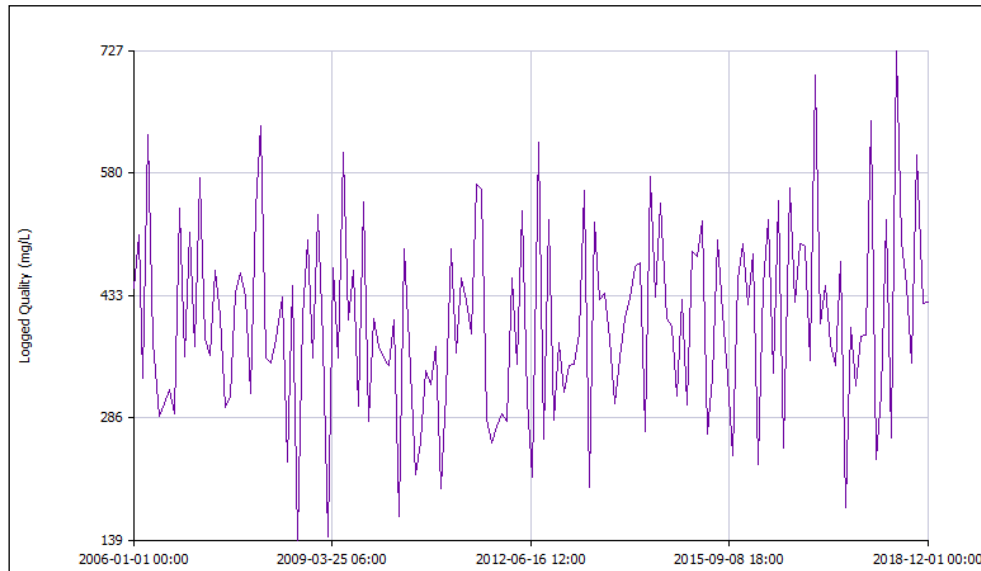


Σχήμα 5.30 Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD του παραγόμενου νερού των μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L

Επιπρόσθετα, τα λύματα που δεν επεξεργάζονται οι δύο μονάδες, καθώς και η ιλύς που παράγεται κατά τη διαδικασία επιστρέφονται στον αποχετευτικό σύστημα. Τα χαρακτηριστικά της ροής φαίνονται στα σχήματα 5.31 και 5.32.



Σχήμα 5.31 Η ποσότητα των επιστρεφόμενων λυμάτων από τις μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων σε L/μήνα



Σχήμα 5.32 Η εκτιμώμενη συγκέντρωση BOD των επιστρεφόμενων λυμάτων των μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων σε mg/L

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι στη συγκεκριμένη προσομοίωση η ποσότητα του νερού που παράγεται διπλασιάζεται (από 750.000 L/μήνα σε 1.500.000 L/μήνα) με απόρροια τα λύματα που επιστρέφουν στο αποχετευτικό σύστημα χωρίς να αξιοποιούνται να είναι μειωμένα. Όσον αφορά την ποιότητα του παραγόμενου νερού μετά την ανάμιξη, μέσω του στοιχείου (MX), αυτή υπολογίζεται από τον αλγόριθμο του UWOT με βάση τον τύπο :

$$Oql_t = \frac{(Iql_1 \cdot Iqn_1 + Iql_2 \cdot Iqn_2)}{Oqn_t} \quad (5.5)$$

όπου, Iqn_1 και Iql_1 η ποσότητα και η ποιότητα της ροής της 1^{ης} μονάδας σε L/χρ. βήμα και mg/L

Iqn_2 και Iql_2 η ποσότητα και η ποιότητα της ροής της 2^{ης} μονάδας σε L/χρ. βήμα και

mg/L

O_{q1} και O_{q2} η ποσότητα και η ποιότητα της συνδυασμένης εκροής σε L/χρ. βήμα και

mg/L

Τονίζεται εκ νέου σε αυτό το σημείο, ότι η συγκέντρωση των επιστρεφόμενων λυμάτων είναι αυξημένη σε σχέση με των εισερχόμενων γιατί το πρόγραμμα στη ροή αυτή προσθέτει και την ιλύ που παράγεται από το Sewer Mining.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικά κάποιες τιμές της προσομοίωσης. (Ολόκληρος ο πίνακας δίνεται στο Παράρτημα Πίνακας 3).

Πίνακας 5.8 Ενδεικτικά αποτελέσματα UWOT για τη ταυτόχρονη λειτουργία 2 μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων

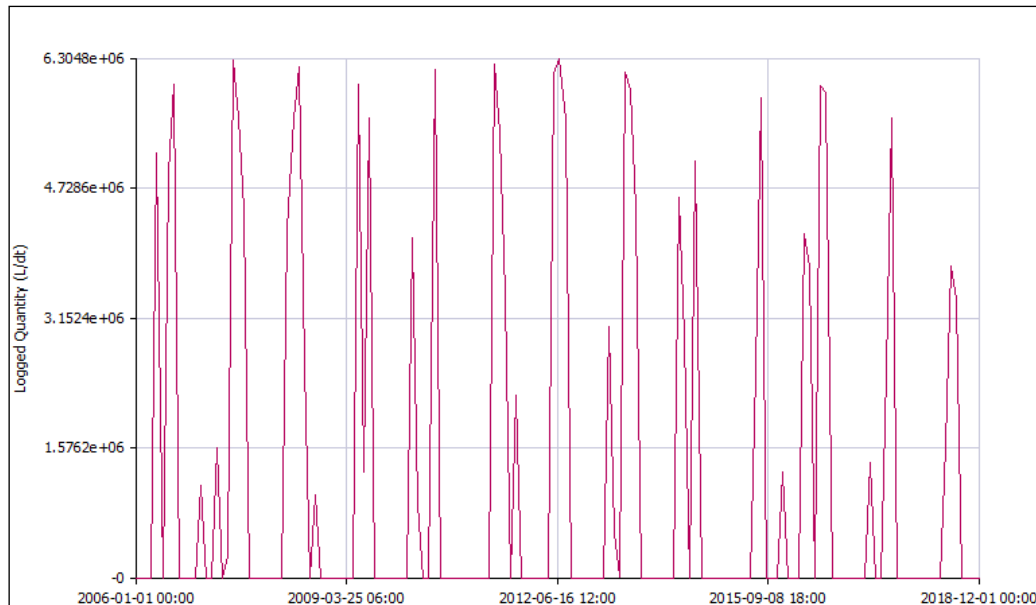
Χρονικό Βήμα	Παραγόμενο Νερό		Υπολειπόμενα Λύματα	
	Ποσότητα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)	Ποσότητα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)
1/1/2006	1500198	3	2849802	442
1/2/2006	1500198	3	2849802	505
1/3/2006	1500198	2	2849802	333
1/4/2006	1500198	4	2849802	626
1/5/2006	1500198	2	2849802	377
1/6/2006	1500198	2	2849802	288
1/7/2006	1500198	2	2849802	303
1/8/2006	1500198	2	2849802	319
1/9/2006	1500198	2	2849802	290
1/10/2006	1500198	4	2849802	537
1/11/2006	1500198	2	2849802	359
1/12/2006	1500198	3	2849802	509

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εκτιμώμενης συγκέντρωσης του BOD στο νερό φαίνονται στον πίνακα 5.9 και όπως και στην προηγούμενη περίπτωση ικανοποιούν τις ποιοτικές προδιαγραφές της Νομοθεσίας για επαναχρησιμοποίησης νερού για αστική χρήση (< 10mg/L).

Πίνακας 5.9 Στατιστικά χαρακτηριστικά συγκέντρωσης του BOD στην εκροή των μονάδων Sewer Mining

Μέση τιμή (mg/L)	3.00
Τυπ. Απόκλιση (mg/L)	0.81
Μέγιστο (mg/L)	5.00
Ελάχιστο (mg/L)	1.00

Τέλος, στο σχήμα 5.33 και στον πίνακα 5.10 παρουσιάζεται η διακύμανση της ζήτησης νερού από την ΕΥΔΑΠ για την κάλυψη των αναγκών σε άρδευση. Με δεδομένο ότι η χρονοσειρά των αναγκών νερού δεν έχει αλλάξει η μορφή του διαγράμματος είναι ίδια με εκείνη του σχήματος 5.28. Η διαφορά που προκύπτει λόγω των δύο λειτουργικών μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων, είναι πως η παραγωγή νερού διπλασιάζεται και κατ' επέκταση η ζήτηση νερού απευθείας από την ΕΥΔΑΠ μειώνεται. Πράγματι, η μέγιστη μηνιαία ζήτηση που προκύπτει έχει τώρα τιμή 6.304.796,5 L/μήνα η οποία και πάλι λαμβάνει χώρα τον Ιούνιο.



Σχήμα 5.33 Η προσομοιωμένη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα για τη 2^η προσομοίωση

Πίνακας 5.10 Ενδεικτικά αποτελέσματα 2^{ης} προσομοίωσης για τη ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ σε L/μήνα

Χρονικό Βήμα	Νερό από ΕΥΔΑΠ	
	Ζήτηση από το σύστημα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BOD (mg/L)
1/1/2006	0	-1
1/2/2006	0	-1
1/3/2006	0	-1
1/4/2006	0	-1
1/5/2006	5154986	-1
1/6/2006	0	-1
1/7/2006	4914826	-1
1/8/2006	5984259.5	-1
1/9/2006	0	-1
1/10/2006	0	-1
1/11/2006	0	-1
1/12/2206	0	-1

5.5 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου δεν υπάρχουν δυστυχώς αρκετά δεδομένα αφού η μονάδα ακόμα δεν λειτουργεί. Ως αποτέλεσμα η αξιολόγηση παραγόμενων μεγεθών δύναται να γίνει μόνο με βάση τα δεδομένα του Φυτωρίου και της ΕΥΔΑΠ, καθώς και από τα στοιχεία από την πιλοτική μονάδα Sewer Mining του ΚΕΡΕΦΥΤ.

Σύμφωνα με το Φυτώριο η μέση ημερήσια ανάγκη νερού σε περιόδους αιχμής κυμαίνεται στα 250 m³/d. Από αυτά 225 m³/d προβλέπεται να καλύπτονται από νερό που προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ, ενώ τα υπόλοιπα 25 m³/d θα παράγονται από τη μονάδα Sewer Mining (ποσοστό 10 % των συνολικών αναγκών). Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε περιόδους αιχμής στις οποίες η ζήτηση είναι αυξημένη (όπως το καλοκαίρι) αλλά δεν είναι αντιπροσωπευτικές της διακύμανσης της ζήτησης μέσα στο έτος (εποχική διακύμανση ζήτησης) για την οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.

Για το λόγο αυτό στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μέγιστες μηνιαίες τιμές ζήτησης από το σύστημα για κάθε προσομοιωμένο έτος, όπως προέκυψαν από το UWOT, καθώς και η αντίστοιχη μηνιαία παραγωγή νερού από τη μονάδα Sewer Mining.

Πίνακας 5.11 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μέγιστη μηνιαία ζήτηση νερού από την ΕΥΔΑΠ και το ποσοστό κάλυψης των αναγκών σε νερό από τη μονάδα Sewer Mining για κάθε έτος

Έτος	Μέγιστη Μηνιαία Ζήτηση από ΕΥΔΑΠ (m ³ /μήνα)	Μηνιαία παραγωγή νερού από S. Mining (m ³ /μήνα)	Ποσοστό κάλυψης αναγκών
2006	6734,36	750	8,98
2007	7033,24	750	9,38
2008	6951,73	750	9,27
2009	6726,67	750	8,97
2010	6898,29	750	9,20
2011	6965,93	750	9,29
2012	7054,90	750	9,41
2013	6882,32	750	9,18
2014	5800,00	750	7,73
2015	6580,44	750	8,77
2016	6709,93	750	8,95
2017	6329,62	750	8,44
2018	4529,10	750	6,04

Είναι εμφανές πως τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι αρκετά κοντά στις πραγματικές τιμές του Φυτωρίου. Η απόκλιση που παρατηρείται οφείλεται στη χρονοσειρά των συνολικών αναγκών νερού του Φυτωρίου, η οποία εισήχθη στο πρόγραμμα ως δεδομένο πριν την προσομοίωση. Για τη δημιουργία της χρονοσειράς έγιναν αρκετές παραδοχές και απλοποιήσεις, όπως ο τύπος των φυτών που αρδεύονται ή η επιλεγμένη μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, οι οποίες δύναται να επηρέασαν τις παραγόμενες τιμές.

Στον πίνακα 5.12 δίνονται οι ετήσιες συνολικές ανάγκες νερού όπως υπολογίσθηκαν στη §5.2.2.2. Σύμφωνα, με την ΕΥΔΑΠ η συνολική παροχή νερού για τις ανάγκες του Φυτωρίου είναι 62.250 m³/έτος. Η απόκλιση είναι σημαντική αφού οι προσομοιωμένες τιμές είναι περίπου 4 φορές μικρότερες από την πραγματική, αλλά δικαιολογείται από το γεγονός πως τα δεδομένα της ΕΥΔΑΠ αφορούν τις συνολικές ανάγκες της εγκατάστασης σε νερό και όχι μόνο

τις ανάγκες σε άρδευση. Για παράδειγμα, από τα 62.250 m³/έτος, ένα σημαντικό ποσοστό χρησιμοποιείται για το πλύσιμο των φορτηγών του δήμου το οποίο γίνεται στην εγκατάσταση του Φυτωρίου, ενώ άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν τη χρήση για πόσιμο νερό, για νερό τουαλέτας κ.ά.. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η προσομοιωμένη ζήτηση είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα όσον αφορά αποκλειστικά τις ανάγκες νερού για άρδευση. Ακριβέστερα συμπεράσματα, δύναται να εξαχθούν φυσικά μετά τη λειτουργία της εγκατάστασης και την καταγραφή των ποσοτικών δεδομένων που θα προκύψουν.

Πίνακας 5.12 Ετήσια προσομοιωμένη ζήτηση νερού της για τα έτη 2006 – 2018

Έτος	Ετήσια ζήτηση νερού (m ³ /έτος)
2006	20.554,67
2007	28.292,23
2008	27.068,63
2009	17.351,04
2010	16.036,02
2011	23.257,61
2012	22.477,66
2013	29.127,08
2014	17.111,26
2015	15.311,46
2016	25.811,90
2017	13.973,51
2018	13.414,19

Η αξιολόγηση της εκτίμησης της συγκέντρωσης του BOD στο παραγόμενο νερό γίνεται σε σχέση με τις προδιαγραφές της μονάδας του DESSIN. Σύμφωνα με αυτές στην εκροή της μονάδας Sewer Mining η συγκέντρωση BOD είναι 0,9 mg/L. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εκτιμούν ότι η συγκέντρωση του BOD στα επεξεργασμένα από τη μονάδα λύματα παρουσιάζει μέση τιμή 2,63 mg/L (βλ. πίνακα 5.4.). Αμφότερες οι τιμές ικανοποιούν όπως έχει προαναφερθεί τα όρια της νομοθεσίας σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση νερού, παρόλα αυτά οι προσομοιωμένες τιμές είναι ελαφρώς μεγαλύτερες. Μία εξήγηση είναι πως το ποσοστό αφαίρεσης του BOD στο UWOT θεωρείται σταθερό στο χρόνο και ίσο με 99 %, ενώ η μονάδα μπορεί να παρουσιάζει μεταβαλλόμενη απόδοση στο χρόνο η οποία σε κάποιες περιόδους είναι μεγαλύτερη του 99%.

Τελικά, το μοντέλο λειτουργεί ικανοποιητικά στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της διάταξης (τουλάχιστον όσον αφορά τις μέγιστες ζητήσεις) αλλά η σύγκριση των αποτελεσμάτων του με τα δεδομένα που θα προκύψουν μετά τη λειτουργία της εγκατάστασης θα δώσει πιο σαφή συμπεράσματα σχετικά την ακρίβεια του μοντέλου.

Στο επόμενο κεφάλαιο, ακολουθεί η οικονομική ανάλυση της επένδυσης που προσομοιώθηκε στο UWOT με σκοπό τη διερεύνηση της βιωσιμότητας της και τα οικονομικά οφέλη ή ζημιές που προκύπτουν στη διάρκεια ζωής ενός τέτοιου έργου.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Στα πλαίσια οποιασδήποτε επένδυσης ή οικονομικής δραστηριότητας, όπως της προτεινόμενης επέμβασης στο Φυτόριο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να προηγείται η χρηματοοικονομική αξιολόγηση της. Ειδικότερα σε περιπτώσεις νέων τεχνολογιών και εφαρμογών, η οικονομική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο για να καταδειχθεί η βιωσιμότητα τους, αλλά και τα οφέλη που δύναται να προσφέρουν σε σχέση με υπάρχουσες τεχνολογίες. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια οικονομικής αξιολόγησης της επέμβασης στο Φυτόριο και σύγκρισης της με τα υπάρχοντα οικονομικά δεδομένα. Στη συνέχεια, εξετάζονται σενάρια που αφορούν τις αρχές της Μικροοικονομικής θεωρίας, πάντα σε σχέση με την επένδυση που έχει προταθεί. Πριν την περιγραφή της ανάλυσης αυτής καθ' αυτής, γίνεται μία μικρή εισαγωγή σε ορισμένες βασικές έννοιες της Οικονομικής Θεωρίας αλλά και της Θεωρίας Αξιολόγησης Επενδύσεων.

6.1 Οικονομική Θεωρία και αξιολόγηση επενδύσεων

6.1.1 Βασικές έννοιες

Η οικονομική επιστήμη αναπτύσσεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες και οι γνώσεις και οι έννοιες που την περιβάλλουν είναι πολλές και ιδιαίτερα πολύπλοκες. Για τον λόγο αυτό, θα παρουσιαστούν συνοπτικά κάποιες μόνο έννοιες που θα χρειαστούν για την κατανόηση της ανάλυσης που ακολουθεί.

Ως *Οικονομική Δραστηριότητα* ορίζεται κάθε προσπάθεια ενός ατόμου, μίας ομάδας, ενός οργανισμού κ.λπ. για να αποκτήσει κάτι που χρειάζεται ή επιθυμεί, η οποία συνεπάγεται χρήση πόρων ή/και δημιουργία αποτελέσματος με οικονομική αξία (π.χ. η κατασκευή ενός δρόμου, η συλλογή και επεξεργασία αποβλήτων, η επένδυση χρήματος για την αγορά ενός αγαθού κ.ά.) (Παναγιωτακόπουλος, 2008). Με τον όρο *Κεφάλαιο* εννοείται το οικονομικό αγαθό που έχει εκφραστεί σε νομισματικές μονάδες και έχει την ικανότητα να παράγει άλλο αγαθό. Διακρίνεται σε πραγματικό (όπως τα μηχανήματα και οι εγκαταστάσεις) και σε αποταμιευτικό (μετρητά).

Επένδυση χαρακτηρίζεται η μετατροπή του χρήματος σε πραγματικό κεφάλαιο. Στόχος κάθε επένδυσης, ιδιωτικής ή δημόσιας, είναι η μεγιστοποίηση των ωφελειών που θα προκύψουν από αυτήν σε επόμενη χρονική περίοδο, σε συνδυασμό ή μη με άλλες επενδύσεις. Εν γένει θεωρείται αποδεκτή η αρχή ότι μία επένδυση είναι συμφέρουσα εφόσον αποδίδει στον επενδυτή ένα όφελος ή μία ικανοποίηση τουλάχιστον ισοδύναμη με την ικανοποίηση που του προσφέρει η παρούσα χρήση του χρήματος. Στον ιδιωτικό τομέα, η επένδυση κατά κανόνα αποσκοπεί στην αύξηση του κεφαλαίου (πραγματικού και αποταμιευτικού) του επενδυτή. Στον Δημόσιο τομέα, τα αναμενόμενα οφέλη αναφέρονται όχι τόσο στην αύξηση του κεφαλαίου όσο στη βελτίωση των συνθηκών ζωής διαφόρων κοινωνικών ομάδων. Εδώ στα αναμενόμενα οφέλη θα πρέπει να συνθεωρηθούν οι κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ένα σημαντικό στοιχείο της οικονομικής θεωρίας είναι η *διαχρονική αξία του χρήματος* η οποία επηρεάζει άμεσα τις επενδύσεις. Γενικά, ένα χρηματικό ποσό σήμερα έχει μεγαλύτερη χρησιμότητα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη αξία από ένα ίδιο χρηματικό ποσό στο μέλλον. Αυτή η διαπίστωση σχετίζεται τόσο με τις βασικές αρχές του χρηματο-οικονομικού συστήματος όσο και με τις ανθρώπινες προτιμήσεις και συνοψίζεται από την επίδραση τριών παραμέτρων: του πληθωρισμού, του κόστους ευκαιρίας και του ρίσκου. Ο *πληθωρισμός*

εκφράζει τη μείωση της αγοραστικής αξίας του χρήματος, η οποία προκαλείται από την αύξηση των τιμών των διάφορων αγαθών. Το *κόστος ευκαιρίας* γενικότερα αναφέρεται στη δέσμευση ενός πόρου σε μία συγκεκριμένη χρήση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την “εγκατάλειψη” άλλων εναλλακτικών επιλογών. Στην περίπτωση του χρήματος το κόστος ευκαιρίας αναφέρεται συνήθως στην απώλεια μίας επενδυτικής ευκαιρίας και κατά συνέπεια του αντίστοιχου οφέλους, εξαιτίας της δέσμευσης των χρημάτων σε μία συγκεκριμένη επένδυση. Το *ρίσκο*, τέλος, σχετίζεται με την αβεβαιότητα που υπάρχει στην πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών (αγορά του παραγόμενου προϊόντος, αγορά των συντελεστών παραγωγή, ευρύτερο οικονομικό πλαίσιο κ.λπ.) (Δαγούμας Α., 2013)

Προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση ποσών που ανακύπτουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός για την αναγωγή ενός ποσού από μία χρονική στιγμή σε άλλη. Βασική προϋπόθεση για τα παραπάνω είναι η ύπαρξη ενός μέτρου της διαχρονικής αξίας του χρήματος, το οποίο χρησιμοποιείται για συγκριτικές αξιολογήσεις οικονομικών δραστηριοτήτων. Το μέτρο αυτό αναφέρεται ως *Συντελεστής Επικαιροποίησης (ΣΕ)* και εκφράζεται σε % ανά χρονική περίοδο (Παναγιωτακόπουλος, 2008).

Κάθε οικονομική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από μία διαχρονική ακολουθία εξόδων και εσόδων (ή χρηματικών εκροών και εισροών). Η ακολουθία αυτή ονομάζεται *Ταμειακή Ροή ή Ροή Μετρητών* της δραστηριότητας. Η συγκριτική αξιολόγηση δραστηριοτήτων συνεπάγεται μετατροπή των χρηματικών ποσών που ανακύπτουν σε μία χρονική περίοδο σε ισοδύναμα άλλης περιόδου. Στα πλαίσια αυτά δημιουργήθηκαν οι έννοιες της *Παρούσας αξίας* και της *Μελλοντικής Αξίας*.

Η *Παρούσα Αξία* (Present Value – PV) ενός μελλοντικού χρηματικού ποσού υπολογίζεται με βάση τον τύπο (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008) :

$$PV = C(1 + \varepsilon)^{-t} \quad (6.1)$$

όπου, ε είναι ο συντελεστής επικαιροποίησης που στην περίπτωση αυτή ονομάζεται *επιτόκιο προεξόφλησης* (discount rate)

C είναι το χρηματικό ποσό που αναμένεται να εισπραχθεί στη χρονική περίοδο t

$(1 + \varepsilon)^{-t}$ είναι ο συντελεστής προεξόφλησης

Η *Μελλοντική Αξία* (Future Value – FV) ενός σημερινού χρηματικού ποσού υπολογίζεται με βάση τον τύπο :

$$FV = C(1 + \varepsilon)^t \quad (6.2)$$

όπου, ε είναι ο συντελεστής επικαιροποίησης που στην περίπτωση αυτή ονομάζεται *επιτόκιο ανατοκισμού* (compound rate)

C είναι το χρηματικό ποσό που θα επενδυθεί για χρονική περίοδο t

$(1 + \varepsilon)^t$ είναι ο συντελεστής ανατοκισμού

6.1.2 Μέθοδοι Αξιολόγησης

Γενικά, διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων αξιολόγησης, ήτοι η Χρηματοοικονομική Ανάλυση (Investment Analysis) και η Κοινωνικο-Οικονομική Ανάλυση ή απλά Ανάλυση Κόστους – Οφέλους (Cost-Benefit Analysis). Η Χρηματοοικονομική

Ανάλυση (με την οποία ασχολείται η παρούσα εργασία) αφορά στις άμεσες οικονομικές επιπτώσεις του υπό εξέταση έργου και ενδιαφέρει κυρίως τον επενδυτή και τα πιστωτικά ιδρύματα (με εξαίρεση τα μη-κερδοσκοπικά). Η Κοινωνικο-Οικονομική Ανάλυση επιδιώκει να αποδώσει οικονομική διάσταση σε όλες τις παραμέτρους ενός έργου (τεχνικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές) και εξετάζει όχι μόνο τις άμεσες αλλά και τις έμμεσες επιπτώσεις του οικονομικού σχεδίου μίας επένδυσης (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008). Με την προσέγγιση αυτή αξιολογείται η συμβολή του επενδυτικού σχεδίου στην ευρύτερη οικονομική ευημερία μίας περιοχής. Κατ' επέκταση, η συγκεκριμένη ανάλυση δεν διενεργείται για λογαριασμό μόνο του ιδιώτη επενδυτή αλλά ολόκληρης της κοινωνίας (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2003).

Η Κοινωνικο-Οικονομική Ανάλυση είναι ένα από τα κύρια εργαλεία που εισάγει στο τομέα της Διαχείριση των Υδατικών Πόρων η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60¹ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ορίζοντας ως συνιστώσες για τον υπολογισμό του πλήρους κόστους των υπηρεσιών νερού, όχι μόνο το οικονομικό κόστος, αλλά και το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος των φυσικών πόρων. Πιο συγκεκριμένα (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008):

- Το *Οικονομικό Κόστος*, αφορά στα χρηματοοικονομικά έξοδα (κόστος επένδυσης και κόστος λειτουργίας) που είναι απαραίτητα για τη συλλογή, τη μεταφορά, την επεξεργασία και τη διανομή του νερού.
- Το *Κόστος Φυσικών Πόρων ή Κόστος Ευκαιρίας*, το οποίο αναφέρεται στην απώλεια οφέλους που υφίστανται διάφορες χρήσεις λόγω της μείωσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε μεγαλύτερο βαθμό από το φυσικό ρυθμό ανανέωσής τους (WATECO, 2002). Σύμφωνα με την ECO2 (Drafting Group ECO 2, 2004), το κόστος των φυσικών πόρων αντιπροσωπεύει το κόστος ευκαιρίας της κατανομής του νερού, υπό συνθήκες έλλειψης, στις επιμέρους χρήσεις και ισούται με τη διαφορά της οικονομικής αξίας της υφιστάμενης χρήσης και της οικονομικής αξίας της καλύτερης εναλλακτικής χρήσης.
- Το *Περιβαλλοντικό Κόστος*, το οποίο αντανάκλα την οικονομική ζημιά που επιφέρουν οι διάφορες χρήσεις νερού στο οικοσύστημα και στους χρήστες του οικοσυστήματος (για παράδειγμα η υποβάθμιση της ποιότητας μίας λίμνης). Η διαφορά του *Περιβαλλοντικού Κόστους* με το *Κόστος Φυσικών Πόρων* έγκειται στο ότι το πρώτο προκαλείται στο περιβάλλον ή σε χρήσεις των υδατικών πόρων από εναλλακτικές χρήσεις (π.χ. ρύπανση ποταμού από μία βιομηχανία), ενώ το δεύτερο δημιουργείται από την αναποτελεσματική κατανομή του νερού, είτε με την ποιοτική είτε με την ποσοτική έννοια, μεταξύ διάφορων χρήσεων του νερού, τωρινών ή μελλοντικών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η πλήρης ανάλυση μίας επένδυσης (*Full-Cost Accounting*), οφείλει να περιλαμβάνει όλες τις συνιστώσες κόστους, ειδικά όταν η επένδυση αφορά το νερό αφού ο διττός του χαρακτήρας: αφενός ως δημόσιου αγαθού που πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες της κοινωνίας σήμερα και στο μέλλον και αφετέρου ως βασικό παραγωγικό συντελεστή του οικονομικού συστήματος, δημιουργεί μία σύνθετη πραγματικότητα. Στο πλαίσιο αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η οικονομική διάσταση των υδατικών πόρων (που μελετάται στην παρούσα εργασία) παίζει μεν ένα σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση

¹ Η Οδηγία 2000/60 ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία με το Ν. 3199/2003, ο οποίος αντικατέστησε τον προηγούμενο νόμο της Ελλάδας για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Ν. 1739/87), ωστόσο η εναρμόνιση με αρκετά θέματα της Οδηγίας παραπέμπεται σε μελλοντικά Προεδρικά Διατάγματα.

επενδύσεων στον τομέα του νερού (όπως η προτεινόμενη επέμβαση στο Φυτόριο), αλλά ως μία από τις πολλές συνιστώσες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας πλέον στην *Χρηματοοικονομική Ανάλυση* των επενδύσεων και δεδομένου ότι σχεδόν πάντα υπάρχουν εναλλακτικές δραστηριότητες για τον ενδιαφερόμενο επενδυτή, η οικονομική αξιολόγηση μίας δραστηριότητας αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των εξής δύο ζητημάτων:

- Μεταξύ δύο ή περισσότερων οικονομικά βιώσιμων εναλλακτικών δραστηριοτήτων, που εξυπηρετούν τον ίδιο στόχο αλλά διαφέρουν ως προς τη ροή μετρητών, ποια είναι πιο συμφέρουσα;
- Αν το διαθέσιμο προς επένδυση αποταμιευτικό κεφάλαιο μπορεί να κατανεμηθεί (για κάλυψη της αρχικής δαπάνης) σε πολλές οικονομικά βιώσιμες δραστηριότητες, πλην όμως δεν επαρκεί για όλες, ποιες συμφέρει να επιλεγούν;

Στη παρούσα εργασία θα καταπιαστούμε με το πρώτο ζήτημα το οποίο αντιμετωπίζεται μέσω της συγκριτικής οικονομικής αξιολόγησης των επενδύσεων. Για τον έλεγχο της οικονομικής αξιολόγησης ενός οποιοδήποτε έργου είναι απαραίτητο να οριστεί ο *χρονικός ορίζοντας της ανάλυσης*. Σε περιπτώσεις σύγκρισης εναλλακτικών δραστηριοτήτων θα πρέπει ο χρονικός ορίζοντας να είναι ίδιος για όλες τις δραστηριότητες. Συνήθως το χρονικό διάστημα που επιλέγεται συμπίπτει είτε με τη χρήσιμη ζωή του συστήματος, είτε με την οικονομική ζωή του συστήματος, είτε με τη χρονική διάρκεια πέρα από την οποία θεωρείται ότι η λειτουργία του υπό μελέτη συστήματος δεν έχει πλέον οικονομικές επιπτώσεις που επηρεάζουν την αξιολόγηση. Γενικά, πάντως, τα βήματα αξιολόγησης μίας επένδυσης είναι (Δαγούμας Α., 2013):

- Προσδιορισμός των εναλλακτικών προτάσεων
- Προσδιορισμός της περιόδου μελέτης της επένδυσης
- Προσδιορισμός των χρηματοροών ανά πρόταση
- Προσδιορισμός του επιτοκίου προεξόφλησης
- Σύγκριση των εναλλακτικών προτάσεων
- Ανάλυση ευαισθησίας για κάθε πρόταση (προαιρετικά)
- Αξιολόγηση κινδύνου για κάθε πρόταση (προαιρετικά)
- Επιλογή της πιο συμφέρουσας πρότασης

Η επιλογή της πλέον συμφέρουσας πρότασης γίνεται με βάση πέντε κύρια κριτήρια αξιολόγησης:

1. Το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)
2. Το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (ΕΒΑ)
3. Το κριτήριο της Ισοδύναμης Ετήσιας Αξίας (ΙΕΑ)
4. Το κριτήριο του Λόγου Ωφελειών προς Δαπάνες (Ω/Δ)
5. Το κριτήριο της Περιόδου Αποπληρωμής

Κάθε μέθοδος σύγκρισης παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία δεν είναι απαραίτητο να αναλυθούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Για την οικονομική αξιολόγηση της επέμβασης στο Φυτώριο χρησιμοποιούνται το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ή Net Present Value – NPV), το οποίο εν γένει προτιμάται όταν μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τη σημερινή αξία μελλοντικών δαπανών και εσόδων, και δευτερευόντως το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR).

Η *Καθαρή Παρούσα Αξία* εκφράζει την αξία που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των ετήσιων καθαρών χρηματοροών που προβλέπονται στο σύνολο του χρόνου ζωής μίας επένδυσης. Ο τύπος με βάση τον οποίο υπολογίζεται είναι (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008):

$$ΚΠΑ = \left[\sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1 + \varepsilon)^t} \right] - E_0 \quad (6.3)$$

όπου, KTP_t είναι η καθαρή ταμειακή ροή στο τέλος της χρονικής περιόδου t

ε είναι το επιτόκιο προεξόφλησης

n είναι το πλήθος των χρονικών περιόδων

E_0 είναι το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης (για $t = 0$)

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μία συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η ΚΠΑ της χρηματοροής μειώνεται. Ο *Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης* του Κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματοροή, δηλαδή εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου που δίνεται από τον ΕΒΑ και του επιτοκίου προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα ταμειακών ροών (για το λόγο αυτό καλείται “εσωτερική απόδοση”), ενώ το δεύτερο καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008). Ο τύπος υπολογισμού του ΕΒΑ είναι ο ακόλουθος:

$$ΚΠΑ = 0 = \left[\sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1 + EBA)^t} \right] - E_0 \quad (6.4)$$

όπου, KTP_t είναι η καθαρή ταμειακή ροή στο τέλος της χρονικής περιόδου t

EBA είναι το επιτόκιο προεξόφλησης που καθιστά την ΚΠΑ=0

n είναι το πλήθος των χρονικών περιόδων

E_0 είναι το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης (για $t = 0$)

Όταν εξετάζεται ένα εναλλακτικό σχέδιο *ανεξάρτητα* από εναλλακτικές επιλογές, τότε οι όροι αποδοχής και απόρριψης του σε σχέση με τα δύο αυτά κριτήρια διαμορφώνονται ως εξής:

α. Για την Καθαρή Παρούσα Αξία

- Αν ΚΠΑ > 0, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- Αν ΚΠΑ = 0, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό

- Αν $KPA < 0$, η επένδυση απορρίπτεται
- β. Για τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης του Κεφαλαίου
- Αν $EBA >$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
 - Αν $EBA =$ με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή και εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση
 - Αν $EBA <$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται

Ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενου κριτηρίου, όταν πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων, προκρίνεται το σχέδιο που εμφανίζει την καλύτερη απόδοση, δηλαδή την υψηλότερη ΚΠΑ ή τον υψηλότερο ΕΒΑ. Οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα αλλά και σε συνδυασμό. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων, η ορθότητα των αποτελεσμάτων βασίζεται στη σωστή διαμόρφωση του πίνακα ταμειακών ροών. Για το σχηματισμό του πίνακα είναι, αντίστοιχα, απαραίτητη η γνώση των εξής μεγεθών: του συνολικού αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης, των ετήσιων δαπανών (λειτουργικά έξοδα, τόκοι, επιπρόσθετες εκταμιεύσεις κεφαλαίου κ.λ.π), των ετήσιων εσόδων και των ετήσιων αποσβέσεων. Στην ανάλυση της επένδυσης του Φυτωρίου που ακολουθεί, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία υπολογισμού του πίνακα.

6.1.3 Οικονομίες Κλίμακας και Καμπύλη Εμπειρίας

Το τελευταίο κομμάτι στο οποίο θα αναφερθούμε σε αυτή την ενότητα είναι οι *Οικονομίες Κλίμακας* και η *Καμπύλη Εμπειρίας*. Με τον όρο Οικονομία Κλίμακας (*Economy of Scale*) αναφερόμαστε στο φαινόμενο κατά το οποίο η αύξηση της παραγωγής σε μία επιχείρηση, μία δραστηριότητα ή ένα έργο οδηγεί σε μείωση του μακροχρόνιου μέσου κόστους παραγωγής. Οι οικονομίες κλίμακας μπορούν να γενικευτούν σε μία εξίσωση παραγωγής Z με n συντελεστές παραγωγής (Κοντογεώργος & Σεργάκη, 2015) ως εξής:

$$Z_0 = f_0(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (6.5)$$

Αν όλοι οι πόροι πολλαπλασιαστούν με λ , η παραγωγή γίνεται:

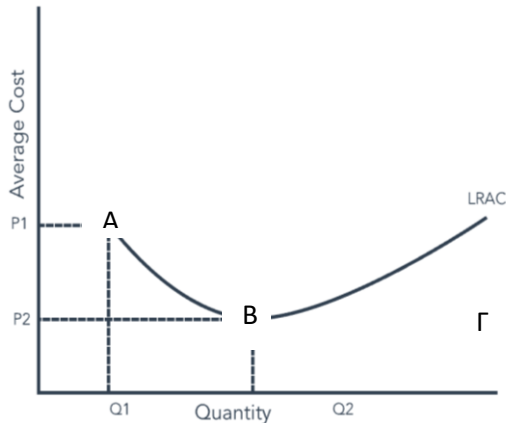
$$Z_\lambda = f_0(\lambda X_1, \lambda X_2, \dots, \lambda X_n) = \lambda f_0(X_1, X_2, \dots, X_n) = \lambda Z_0 \quad (6.6)$$

- Αν $\lambda > 1$, υπάρχουν θετικές οικονομίες κλίμακας
- Αν $\lambda = 1$, υπάρχουν σταθερές οικονομίες κλίμακας
- Αν $\lambda < 1$, υπάρχουν αρνητικές οικονομίες κλίμακας

Οι οικονομίες κλίμακας μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- *Εξωτερικές Οικονομίες Κλίμακας*: έχουμε όταν το κόστος ανά μονάδα προϊόντος για μία επιχείρηση εξαρτάται από το μέγεθος του κλάδου στον οποίο δραστηριοποιείται
- *Εσωτερικές Οικονομίες Κλίμακας*: έχουμε όταν το κόστος ανά μονάδα προϊόντος εξαρτάται από το μέγεθος της επιχείρησης

Για τις Εσωτερικές Οικονομίες Κλίμακας, οι οποίες μας αφορούν στα πλαίσια της εργασίας, όσο αυξάνεται το μέγεθος μίας δραστηριότητας ή επιχείρησης, το κόστος ανά μονάδα προϊόντος που παράγει μειώνεται. Αυτό καθιστά τις μεγάλες επιχειρήσεις περισσότερο αποτελεσματικές σε σχέση με τις υπόλοιπες του ίδιου κλάδου και κατ' επέκταση πιο ανταγωνιστικές. Στο σχήμα 6.1 φαίνεται το διάγραμμα που περιγράφει τις Οικονομίες Κλίμακας. Στο κομμάτι AB το μέσο κόστος (κατακόρυφος άξονας) μειώνεται όσο αυξάνεται η παραγωγή (οριζόντιος άξονας) άρα πρόκειται για θετική οικονομία κλίμακας, ενώ στο κομμάτι ΒΓ όσο αυξάνεται η παραγωγή, αυξάνεται και το κόστος όπως συμβαίνει σε αρνητικές οικονομίες κλίμακας. Οι επιχειρήσεις γενικά επιδιώκουν να λειτουργούν κοντά στο σημείο Β που αντιπροσωπεύει το ελάχιστο μέσο κόστος παραγωγής.



Σχήμα 6.1 Διάγραμμα Οικονομιών Κλίμακας
(Πηγή: www.Inteligenteconomist.com)

Μερικά παραδείγματα παραμέτρων που οδηγούν στην ανάπτυξη εσωτερικών οικονομιών κλίμακας είναι (Κοντογεώργος & Σεργάκη, 2015):

- *Η Τεχνολογία:* Η επένδυση σε νεότερες και πιο εξελιγμένες τεχνολογίες οδηγεί στην αύξηση της ποσότητας παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του κόστους.
- *Η αγοραστική δύναμη:* Μία εταιρεία που έχει την δυνατότητα να αγοράσει μαζικά τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για την παραγωγή του προϊόντος, πληρώνει λιγότερα ανά μονάδα σε σχέση με μία άλλη ίσως μικρότερη εταιρεία που προμηθεύεται τις ίδιες πρώτες ύλες σε μικρότερες ποσότητες. Αυτό έχει ως απόρροια το κόστος παραγωγής του ίδιου προϊόντος να είναι μικρότερο για την πρώτη εταιρεία.
- *Οικονομικοί Παράγοντες:* Οι μεγαλύτερες επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να δανείζονται κεφάλαια με ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες σε σχέση με άλλες μικρότερες, με αποτέλεσμα το κόστος παραγωγής να είναι μειωμένο.

Μία ιδιάζουσα παράμετρος που οδηγεί στη μείωση του μέσου κόστους παραγωγής είναι η εμπειρία του ανθρώπινου δυναμικού. Η απόδοση του ατόμου αυξάνεται όταν επαναλαμβάνει την ίδια εργασία, με άμεσο αποτέλεσμα η παραγωγή ενός προϊόντος να γίνεται φθηνότερα και σε λιγότερο χρόνο. Το φαινόμενο αυτό εκφράζεται με την *Καμπύλη Εμπειρίας (Experience Curve)*, μία γενική μορφή της οποίας είναι (Παναγιωτακόπουλος, 2008):

$$Y_N = Y_1 N^{-b} \quad (6.6)$$

όπου, Y_N είναι η διάρκεια εκτέλεσης ή το κόστος εργασίας κατά την υπ' αριθμό N επανάληψη

N είναι ο αύξων αριθμός επανάληψης

b είναι ο ρυθμός βελτίωσης (experience rate)

Η έννοια της Καμπύλης Εμπειρίας δεν ταυτίζεται με αυτή της Οικονομίας Κλίμακας. Στις Οικονομίες Κλίμακας παρατηρείται η μείωση του κόστους παραγωγής (κόστους εγκαταστάσεων, εξοπλισμού κ.λπ) λόγω της αυξανόμενης παραγωγής. Από την άλλη, η Καμπύλη Εμπειρίας αφορά την βελτίωση των δεξιοτήτων των ατόμων και την εύρεση πιο αποδοτικών μεθόδων εργασίας. Επιπρόσθετα, η ανάλυση της καμπύλης εμπειρίας βασίζεται στον αριθμό των μονάδων που έχουν παραχθεί από την αρχή της λειτουργίας μίας επιχείρησης, ενώ οι οικονομίες κλίμακας αναφέρονται στις μονάδες που παράχθηκαν μέσα σε μία παραγωγική περίοδο όπως το ένα έτος.

6.2 Οικονομική Ανάλυση Επένδυσης Sewer Mining

Στη παρούσα ενότητα περιγράφεται η χρηματοοικονομική ανάλυση της προτεινόμενης διάταξης στο Φυτόριο του Δήμου Αθηναίων, σύμφωνα με τη θεωρία που αναπτύχθηκε προηγουμένως. Στα πλαίσια της συγκριτικής αξιολόγησης εξετάζονται 4 βασικά σενάρια, ενώ έπειτα γίνεται μία περαιτέρω εμβάθυνση στις θεωρίες των οικονομικών κλίμακας και της καμπύλης εμπειρίας με την εξέταση ορισμένων υποσεναρίων. Από αυτό το σημείο της εργασίας και στο εξής θα χρησιμοποιείται η συντομογραφία Μ.Ε.Λ η οποία υποδηλώνει τη/τις Μονάδα/ες Εξόρυξης Λυμάτων, για συντομία κειμένου. Τα 4 βασικά σενάρια που μελετώνται είναι :

Σενάριο 1: Διάταξη μίας Μ.Ε.Λ.

Σενάριο 2: Διάταξη με δύο Μ.Ε.Λ.

Σενάριο 3: Διάταξη με επτά Μ.Ε.Λ.

Σενάριο 4: Υφιστάμενη Κατάσταση

Αρχικά, παρουσιάζεται η οικονομική ανάλυση που αφορά αποκλειστικά τις μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος του νερού της ΕΥΔΑΠ για την κάθε επένδυση, προκειμένου να υπολογιστεί αν η τεχνολογία είναι οικονομικά συμφέρουσα ή όχι. Για την ανεξάρτητη ανάλυση των μονάδων χρησιμοποιούνται τόσο το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας όσο και το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης του Κεφαλαίου. Η μεθοδολογία για την ανάλυση περιλαμβάνει την κατάσταση του πίνακα ταμειακών ροών και μέσω αυτού, τον υπολογισμό της ΚΠΑ και του ΕΒΑ. Ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης είναι τα 15 έτη, δηλαδή ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής της μονάδας Ε.Λ. Για την αξιολόγηση επιλέχθηκαν 15 διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης προκειμένου να αποσαφηνιστεί η ευαισθησία κάθε περίπτωσης στην αλλαγή της συγκεκριμένης παραμέτρου. Για τον καθορισμό του εύρους του επιτοκίου θεωρήθηκε ως ενδεικτική τιμή το επιτόκιο δανεισμού των επιχειρήσεων για το έτος 2019, το οποίο είναι 5,85% (για τη χρηματοδότηση κεφαλαίων κίνησης, πάγιων εγκαταστάσεων και εξοπλισμού).¹ Σύμφωνα με αυτό επιλέχθηκε το επιτόκιο προεξόφλησης να λαμβάνει τιμές από 3,5 % έως 5 % ανά 0,1 %.

Το επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός των εισροών και των εκροών του πίνακα, οι οποίες είναι:

- Επένδυση: Το αρχικό κόστος της/των Μ.Ε.Λ. και της αντλίας.

¹ “Επιτόκια και Τιμολόγιο Δανείων”, Εθνική Τράπεζα, 2019

- **Λειτουργικό Κόστος:** Είναι τα χρήματα που απαιτούνται στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου (έτος) για τη λειτουργία της/των Μ.Ε.Λ. και της αντλίας.
- **Έσοδα:** Είναι τα χρήματα που προκύπτουν ως εισροή στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου από την πώληση της παραγόμενης Ιλύος και την εξοικονόμηση νερού.

Στη συνέχεια των παραπάνω, η οικονομική ανάλυση διευρύνεται ώστε να λαμβάνει υπόψη το συνολικό κόστος κάθε επένδυσης (κόστος τεχνολογίας Εξόρυξης Λυμάτων και κόστος κατανάλωσης νερού από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ), που θα κληθεί να πληρώσει το Φυτόριο. Η συνολική επένδυση αξιολογείται μέσω του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσας Αξίας, ενώ οι παραδοχές που περιεγράφηκαν παραπάνω σχετικά με τον χρονική περίοδο μελέτης και το επιτόκιο προεξόφλησης συνεχίζουν να ισχύουν. Στην περίπτωση της συνολικής ανάλυσης της επένδυσης οι ροές κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **Επένδυση:** Το αρχικό κόστος της /των Μ.Ε.Λ. και της αντλίας
- **Λειτουργικό Κόστος:** Είναι τα χρήματα που απαιτούνται στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου (έτος) για τη λειτουργία της/των Μ.Ε.Λ. και της αντλίας, αλλά και το κόστος του νερού που καταναλώνει το Φυτόριο από το δίκτυο ύδρευσης.
- **Έσοδα:** Είναι τα χρήματα που προκύπτουν ως εισροή στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου από την πώληση της Ιλύος.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως ενώ στο αρχικό σχέδιο της NextGenWater προβλέπεται η ανάκτηση θερμικής ενέργειας από τα λύματα για την χρήση εντός της εγκατάστασης, η οποία θεωρητικά θα έδινε ένα όφελος, στα πλαίσια της οικονομικής ανάλυσης δεν λήφθηκε υπόψη τόσο λόγω έλλειψης δεδομένων, αλλά και προκειμένου να είμαστε συντηρητικοί στις εκτιμήσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα οικονομικά δεδομένα των επιμέρους στοιχείων της επένδυσης, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ετήσιων οικονομικών μεγεθών.

Μονάδα Εξόρυξης Λυμάτων

Τα μοναδιαία κόστη για τη μονάδα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος βασίζεται στην εργασία των Plevri et al (2017), οι οποίοι είχαν επιχειρήσει μία αποτίμηση του κόστους της πιλοτικής μονάδας Ε.Λ. που τοποθετήθηκε στο ΚΕΡΕΦΥΤ. Όπως και σε άλλα κομμάτια της εργασίας έτσι και εδώ θεωρείται ότι η μονάδα είναι ίδιας τεχνολογίας και επομένως τα δεδομένα της εργασίας δύναται να χρησιμοποιηθούν και στη περίπτωση του Φυτωρίου χωρίς σημαντικές αποκλίσεις.

Πίνακας 6.1 Μοναδιαία κόστη της πιλοτικής Μ.Ε.Λ. του ΚΕΡΕΦΥΤ (σε €/m³) (Πηγή: Plevri et al., 2017)

Αρχικό Κεφάλαιο (Capital Cost)	0.36 €/m ³
Λειτουργικό Κόστος (Operational Cost)	0.5 €/m ³
Συνολικό Κόστος (Total Cost)	0.86 €/m ³

Αντλία

Τα οικονομικά δεδομένα της αντλίας προέκυψαν από την Τεχνολογική Βιβλιοθήκη του UWOT με βάση το μέγεθος της αντλίας που επιλέχθηκε για την προσομοίωση. Όπως και στη μονάδα Ε.Λ. τα κόστη διακρίνονται σε αρχικό κεφάλαιο και λειτουργικό κόστος (Πίνακας 6.2), αλλά στη προκειμένη περίπτωση δεν υπολογίζονται ανά m^3 αλλά ανά έτος.

Πίνακας 6.2 Κόστη της αντλίας με βάση τη Τεχνολογική Βιβλιοθήκη του UWOT

Αρχικό Κεφάλαιο (Capital Cost)	3615 €
Λειτουργικό Κόστος (Operational Cost)	365.2 €/έτος

Νερό από την ΕΥΔΑΠ

Η Τρίτη παράμετρος που καθορίζει τα έξοδα στην οικονομική ανάλυση, είναι το κόστος που προκύπτει για το νερό που προμηθεύεται το Φυτώριο από την ΕΥΔΑΠ. Για τον υπολογισμό του, λήφθηκαν υπόψη τα ετήσια στοιχεία της ΕΥΔΑΠ σχετικά με την κατανάλωση νερού της εγκατάστασης τα οποία δίνονται στον πίνακα 6.3. Όπως βλέπουμε, το Φυτώριο καλείται να πληρώσει 72.750 € ετησίως για την άρδευση του Φυτωρίου, όταν όλες οι ανάγκες καλύπτονται από το νερό του δικτύου ύδρευσης.

Πίνακας 6.3 Οικονομικά στοιχεία για το κόστος του Νερού για το Φυτώριο σύμφωνα με την ΕΥΔΑΠ

Ετήσια Παροχή	62.250 m^3 /έτος
Ετήσιο Κόστος Νερού	72.750 €/έτος
Μοναδιαίο Κόστος Νερού	1.17 €/m ³

Πλεονάζουσα Ιλύς

Σύμφωνα με το αρχικό σχέδιο για την επέμβαση στο Φυτώριο, η ιλύς που παράγεται από τη μονάδα κατά την επεξεργασία του λύματος θα χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό για τις ανάγκες του Φυτωρίου. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη το όφελος που προκύπτει από τη συγκεκριμένη ενέργεια (εφόσον με αυτό το τρόπο μειώνεται το κόστος για την αγορά εδαφοβελτιωτικών), θεωρούμε ως όφελος το κέρδος που θα είχε το Φυτώριο από την πώληση του παραγόμενου κομπόστ σε τρίτους με βάση τις τιμές της αγοράς. Η τιμή πώλησης της επεξεργασμένης Ιλύος είναι γενικά δύσκολα προσδιορίσιμη, καθώς εξαρτάται από την ποιότητα της παραγόμενης Ιλύος, το ποσοστό υγρασίας και στερεών, τη χώρα στην οποία διατίθεται κ.ά. Για παράδειγμα, σύμφωνα με την έκθεση της γερμανικής εταιρείας IPP Consult η προτεινόμενη τιμή πώλησης της παραγόμενης Ιλύος είναι 4 – 10 $\$/m^3$ (IPP Consult, 2002), το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο πρότεινε ως τιμές πώλησης τα 24 – 36 €/τόνο (EC, 2000), ενώ το AFESD (Arabic Fund for Economic and Social Development) θεωρεί, σύμφωνα με έκθεση του για την Εγκατάσταση Παραγωγής Κομπόστ στο Κάιρο (2007), πως η Ιλύς μπορεί να διατίθεται για 8 – 13 $\$/m^3$. Με βάση τα παραπάνω επιλέχθηκε ως τιμή πώλησης για την Ιλύ τα 0,03 €/kg = 30 €/τόνο. Η συγκεκριμένη ροή θα δούμε στη συνέχεια πως έχει μικρή σχετικά επίπτωση στη συνολική οικονομική ροή επομένως δεν είναι τόσο κρίσιμη η επιλογή της τιμής. Τα δεδομένα για την παραγόμενη Ιλύ φαίνονται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4 Δεδομένα για την Παραγόμενη Ιλύ της μονάδας Ε.Λ.

Εβδομαδιαία Παραγωγή	100 kg/εβδομάδα
Ετήσια Παραγωγή	5.200 kg/έτος
Τιμή Πώλησης	0,03 €/kg
Ετήσιο Έσοδο	156 €/έτος

6.2.1 Οικονομική Ανάλυση της Μ.Ε.Λ.

Η οικονομική ανάλυση της μονάδας απαιτεί, καταρχάς, τον προσδιορισμό των ετήσιων χρηματοροών. Για να υπολογιστεί το αρχικό κόστος αλλά και το ετήσιο λειτουργικό κόστος της μονάδας, είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί η ετήσια παραγωγή νερού. Με δεδομένο, πως η χωρητικότητα της μονάδας είναι 25 m³/ημέρα και η μονάδα λειτουργεί 365 μέρες το χρόνο, προκύπτει πως η συνολική δυναμικότητα της είναι 9.125 m³/έτος. Κατ' επέκταση, με βάση τον πίνακα 6.1 υπολογίστηκε ο Πίνακας 6.5, ο οποίος δίνεται παρακάτω:

Πίνακας 6.5 Κόστος της Μ.Ε.Λ'.

Αρχικό Κεφάλαιο (Capital Cost)	49.275 €
Λειτουργικό Κόστος (Operational Cost)	4562,5 €/έτος

Επιπρόσθετα, καθορίζεται το έσοδο που προκύπτει από την εξοικονόμηση πόρων λόγω της μη κατανάλωσης νερού του δικτύου ύδρευσης, αφού πλέον 9.125 m³ από τα συνολικά 62.250 m³, που αποτελούν τις συνολικές ανάγκες νερού, παράγονται από τη μονάδα. Λαμβάνοντας υπόψη πως το κόστος του νερού από την ΕΥΔΑΠ ανέρχεται στα 1,17 €/m³, προκύπτει ότι το εξοικονομούμενο ποσό φτάνει τα 10.676,25 €/έτος.

Πίνακας 6.6 Εξοικονόμηση νερού λόγω της Μ.Ε.Λ.

Ετήσια Παροχή Μονάδας	9.125 m ³ /έτος
Ετήσια Εξοικονόμηση Νερού	10.376,25 €/έτος
Μοναδιαίο Κόστος Νερού	1,17 €/m ³

Με γνωστές της ετήσιες εισροές και εκροές είναι πλέον εφικτή η κατασκευή του Πίνακα Ταμειακών Ροών της επένδυσης. Ο πίνακας διαμορφώνεται ως εξής:

- Καθορίζονται οι χρονικές περίοδοι της επένδυσης (από το 0 μέχρι το 15)
- Τα αρχικά κεφάλαια της επένδυσης τοποθετούνται στο t = 0 (αρχή της πρώτης χρονικής περιόδου)
- Τα ετήσια έσοδα και έξοδα τοποθετούνται από το t = 1 έως το t = 15 (θεωρείται ότι πληρώνονται στο τέλος κάθε περιόδου)
- Στη στήλη συνολικά έσοδα προστίθενται τα ετήσια έσοδα (Πώληση Ιλύος και Εξοικονόμηση Νερού)
- Στη στήλη συνολικά έξοδα προστίθενται τα ετήσια έξοδα (Λειτουργικά κόστη S. Mining, αντλίας)

- Υπολογίζονται τα μικτά κέρδη/ζημιά για κάθε έτος αθροίζοντας αλγεβρικά τα συνολικά έσοδα και έξοδα
 - Υπολογίζεται η Καθαρή Ταμειακή Ροή για κάθε έτος από τα μικτά κέρδη/ζημιά και το αρχικό κεφάλαιο
- Ο πίνακας φαίνεται αναλυτικά παρακάτω:

Πίνακας 6.7 Πίνακας Ταμειακών Ροών της Μ.Ε.Λ.

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	Μονάδα Ε.Λ.	Αντλία	ΕΞΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	Εξοι/μηση Νερού	ΕΞΟΔΑ	Μονάδα Ε.Λ.	Αντλία	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	52890	49275	3615								-52890
1				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
2				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
3				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
4				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
5				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
6				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
7				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
8				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
9				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
10				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
11				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
12				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
13				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
14				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57
15				10832.25	156	10676.25	4927.68	4562.5	365.18	5904.57	5904.57

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως στον πίνακα ταμειακών ροών προστίθενται συνήθως οι αποσβέσεις, οι φόροι αλλά και το φορολογητέο εισόδημα. Καθώς, όμως πρόκειται για καθαρό λογιστικά μεγέθη που δεν είναι απαραίτητα για την συγκεκριμένη ανάλυση δεν περιλαμβάνονται στον Πίνακα ούτε λαμβάνονται υπόψη στην τελική Καθαρή Παρούσα Αξία.

Ο πίνακας δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Excel το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την οικονομική αξιολόγηση αφού διαθέτει ενσωματωμένες (με λεπτομερείς οδηγίες χρήσης) αρκετές οικονομικές συναρτήσεις. Αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι οι εξής:

<u>Όνομα Συνάρτησης</u>	<u>Αντικείμενο Συνάρτησης</u>
PV Present Value	Αποδίδει την παρούσα αξία μίας σειράς μελλοντικών πληρωμών ή ενός μελλοντικού ποσού
NPV Net Present Value	Αποδίδει την Καθαρή Παρούσα Αξία, βάσει ενός προεξοφλητικού επιτοκίου, μίας σειράς από μελλοντικές πληρωμές (αρνητικές τιμές) και εισοδήματα (θετικές τιμές)
IRR Internal Rate of Return	Αποδίδει τον εσωτερικό ρυθμό απόδοσης μίας σειράς ταμειακών ροών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία για τα 15 διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Πίνακας 6.8).

Πίνακας 6.8 Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (1 μονάδας) για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
15,115.36 €	3.5%
14,634.25 €	3.6%
14,158.15 €	3.7%
13,687.00 €	3.8%
13,220.73 €	3.9%
12,759.30 €	4.0%
12,302.62 €	4.1%
11,850.66 €	4.2%
11,403.33 €	4.3%
10,960.60 €	4.4%
10,522.40 €	4.5%
10,088.67 €	4.6%
9,659.37 €	4.7%
9,234.42 €	4.8%
8,813.79 €	4.9%
8,397.42 €	5.0%

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης η μονάδα Ε.Λ. παρουσιάζει θετική ΚΠΑ για όλα τα επιτόκια προεξόφλησης που δοκιμάστηκαν, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα πως η μονάδα αποφέρει κέρδος. Για παράδειγμα, ΚΠΑ = 15.115,36 € σημαίνει πως για το σύνολο του χρόνου ζωής της μονάδας, το κέρδος στο παρόν από την προεξόφληση όλων των χρηματοροών ανέρχεται στα 15.115,36 €. Το συμπέρασμα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικό αφού γίνεται εμφανές πως η τεχνολογία είναι βιώσιμη, παρόλο που η ανάλυση θεωρείται συντηρητική αφού δεν λαμβάνει υπόψη την τυχόν τεχνολογική βελτίωση της μονάδας μέσα στα 15 χρόνια που μελετώνται (που θα οδηγούσε σε βελτίωση της απόδοσης ή μείωση λειτουργικού κόστους).

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της μονάδας υπολογίστηκε ίσος με EBA = 7,26 %. Για πίνακα ταμειακών ροών που δεν παρατηρούνται εναλλαγές στα πρόσημα των ετήσιων χρηματοροών, η τιμή του είναι μοναδική. Επιπρόσθετα, ο EBA εξαρτάται μόνο από τις ταμειακές ροές, σε αντίθεση με την ΚΠΑ που μεταβάλλεται ανάλογα με το επιτόκιο προεξόφλησης που επιλέγεται. Προκειμένου να ικανοποιείται το αντίστοιχο κριτήριο πρέπει ο EBA της επένδυσης να είναι μεγαλύτερος από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης που είναι το υψηλότερο δυνατό μεταξύ των εναλλακτικών ευκαιριών. Στην προκειμένη περίπτωση ο EBA είναι όντως μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης (5%), κατ' επέκταση και το κριτήριο Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ικανοποιείται.

6.2.2 Οικονομική Ανάλυση δύο Μ.Ε.Λ.

Με δεδομένο πως σύμφωνα με την ενότητα 6.2.1 η μονάδα Ε.Λ. είναι συμφέρουσα, σκοπός είναι σε αυτό το κομμάτι να διερευνηθεί η βιωσιμότητα μίας επένδυσης δύο μονάδων σε παράλληλη λειτουργία (όπως στο σενάριο 3).

Σε αντιστοιχία λοιπόν με τα προηγούμενα, αρχικά υπολογίζεται το αρχικό κόστος αλλά και το ετήσιο λειτουργικό κόστος των μονάδων. Για δύο πανομοιότυπες μονάδες, με χωρητικότητα 25 m³/ημέρα και πρόβλεψη συνεχούς λειτουργίας 365 μέρες το χρόνο, προκύπτει πως η συνολική δυναμικότητα της είναι 18.250 m³/έτος. Από τα μοναδιαία κόστη της μονάδας που δίνονται στον πίνακα 6.1, προκύπτει ο πίνακας 6.9:

Πίνακας 6.9 Κόστος δύο Μ.Ε.Λ.

Αρχικό Κεφάλαιο (Capital Cost)	98.550 €
Λειτουργικό Κόστος (Operational Cost)	9.125 €/έτος

Διαφορά παρατηρείται επίσης στο έσοδο που προκύπτει από την εξοικονόμηση πόρων λόγω της μη κατανάλωσης νερού του δικτύου ύδρευσης. Οι δύο μονάδες παράγουν συνολικά 18.250 m³ νερό ετησίως με τις ετήσιες ανάγκες να παραμένουν σταθερές. Λαμβάνοντας και πάλι υπόψη πως το κόστος του νερού από την ΕΥΔΑΠ ανέρχεται στα 1,17 €/m³, προκύπτει ότι το εξοικονομούμενο ποσό στην περίπτωση αυτή φτάνει τα 21.352,5 €/έτος.

Πίνακας 6.10 Εξοικονόμηση νερού λόγω 2 Μ.Ε.Λ.

Ετήσια Παροχή Διάταξης	18.250 m ³ /έτος
Ετήσια Εξοικονόμηση Νερού	21.352,5 €/έτος
Μοναδιαίο Κόστος Νερού	1,17 €/m ³

Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η αύξηση των εκτιμώμενων εσόδων από την πώληση της παραγόμενης Ιλύος, της οποίας η ποσότητα αυξάνεται από 100 σε 200 kg/εβδομάδα, με αποτέλεσμα το ετήσιο έσοδο να διπλασιάζεται και να φτάνει τα 312 €/έτος.

Πίνακας 6.11 Δεδομένα για την Παραγόμενη Ιλύ από δύο Μ.Ε.Λ.

Εβδομαδιαία Παραγωγή	200 kg/εβδομάδα
Ετήσια Παραγωγή	10.400 kg/έτος
Τιμή Πώλησης	0,03 €/kg
Ετήσιο Έσοδο	312 €/έτος

Ο πίνακας ταμειακών ροών των δύο μονάδων διαμορφώνεται σύμφωνα με τα προαναφερθέντα της ενότητας 6.2.1 και παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω:

Πίνακας 6.12 Πίνακας Ταμειακών Ροών δύο Μ.Ε.Λ.

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	2 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΕΞΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	Εξοί/μηση Νερού	ΕΞΟΔΑ	2 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	102165	98550	3615								-102165
1				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
2				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
3				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
4				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
5				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
6				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
7				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
8				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
9				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
10				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
11				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
12				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
13				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
14				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32
15				21664.5	312	21352.5	9490.18	9125	365.18	12174.32	12174.32

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία για τα 15 διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Πίνακας 6.13):

Πίνακας 6.13 Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (2 μονάδες) για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
38,051.65 €	3.5%
37,059.67 €	3.6%
36,078.02 €	3.7%
35,106.58 €	3.8%
34,145.22 €	3.9%
33,193.81 €	4.0%
32,252.22 €	4.1%
31,320.33 €	4.2%
30,398.02 €	4.3%
29,485.17 €	4.4%
28,581.67 €	4.5%
27,687.39 €	4.6%
26,802.22 €	4.7%
25,926.06 €	4.8%
25,058.78 €	4.9%
24,200.28 €	5.0%

Όπως και στην περίπτωση της μίας μονάδας Sewer Mining και εδώ η ΚΠΑ > 0 για όλα τα επιτόκια προεξόφλησης που δοκιμάστηκαν. Ως αποτέλεσμα και η επιλογή των δύο μονάδων κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα ως επένδυση ενώ μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ΚΠΑ είναι αυξημένη σε σχέση με την πρώτη περίπτωση που εξετάστηκε. Αυτό σημαίνει πως αν εξεταζόταν αποκλειστικά η επένδυση Εξόρυξης Λυμάτων (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το συνολικό κόστος της επένδυσης που περιλαμβάνει και το νερό που πληρώνει το Φυτώριο στην ΕΥΔΑΠ), οι δύο μονάδες προσφέρουν μεγαλύτερο όφελος και προκρίνονται ενάντια της μίας.

Όσον αφορά τον Εσωτερικό Βαθμό απόδοσης αυτός προκύπτει στην προκειμένη περίπτωση ίσος με EBA = 8,33 %, είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης και κατ' επέκταση το κριτήριο Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ικανοποιείται επίσης.

6.2.3 Οικονομική Ανάλυση εφτά Μ.Ε.Λ.

Τελευταία ανεξάρτητη ανάλυση που πραγματοποιείται αφορά την παράλληλη λειτουργία 7 μονάδων υπό το πρίσμα της πλήρους ικανοποίησης των υδάτινων αναγκών του Φυτωρίου αποκλειστικά από το παραγόμενο νερό.

Με την υπόθεση πως οι μονάδες έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά η συνολική δυναμικότητα της συγκεκριμένης διάταξης πολλαπλασιάζοντας την δυναμικότητα της μίας μονάδας επί το πλήθος των μονάδων (7*9.125 m³ /έτος). Από τα μοναδιαία κόστη της μονάδας που δίνονται στον πίνακα 6.1, προκύπτει ο πίνακας 6.14:

Πίνακας 6.14 Κόστος επτά Μ.Ε.Λ.

Αρχικό Κεφάλαιο (Capital Cost)	344.925 €
Λειτουργικό Κόστος (Operational Cost)	31.937,5 €/έτος

Οι μονάδες παράγουν συνολικά 63.875 m³ νερό ετησίως με της ετήσιες ανάγκες να παραμένουν σταθερές. Λαμβάνοντας και πάλι υπόψη πως το κόστος του νερού από την ΕΥΔΑΠ ανέρχεται στα 1,17 €/m³, προκύπτει ότι το εξοικονομούμενο ποσό στην περίπτωση αυτή φτάνει τα 74.733,75 €/έτος.

Πίνακας 6.15 Εξοικονόμηση νερού λόγω 7 Μ.Ε.Λ.

Ετήσια Παροχή Διάταξης	63.875 m ³ /έτος
Ετήσια Εξοικονόμηση Νερού	74.733,75 €/έτος
Μοναδιαίο Κόστος Νερού	1,17 €/m ³

Όσον αφορά την αύξηση των εκτιμώμενων εσόδων από την πώληση της παραγόμενης Ιλύος, κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση των δύο μονάδων, τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 6.16.

Πίνακας 6.16 Δεδομένα για την Παραγόμενη Ιλύ των Μ.Ε.Λ.

Εβδομαδιαία Παραγωγή	700 kg/εβδομάδα
Ετήσια Παραγωγή	36.400 kg/έτος
Τιμή Πώλησης	0,03 €/kg
Ετήσιο Έσοδο	1092 €/έτος

Ο πίνακας ταμειακών ροών διαμορφώνεται σύμφωνα με τα προαναφερθέντα της ενότητας 6.2.1 και παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω:

Πίνακας 6.17 Πίνακας Ταμειακών Ροών εφτά Μ.Ε.Λ.

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	7 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΕΣΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	Εξοι/μηση Νερού	ΕΞΟΔΑ	7 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	348540	344925	3615								-348540
1				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
2				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
3				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
4				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
5				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
6				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
7				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
8				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
9				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
10				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
11				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
12				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
13				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
14				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07
15				75825.75	1092	74733.75	32302.68	31937.5	365.18	43523.07	43523.07

Από τον πίνακα ταμειακών ροών προκύπτουν όπως και παραπάνω η Καθαρή Παρούσα Αξία (Πίνακας 6.18) και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.

Πίνακας 6.18 Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (7 μονάδες) για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
152,733.08 €	3.5%
149,186.77 €	3.6%
145,677.40 €	3.7%
142,204.52 €	3.8%
138,767.65 €	3.9%
135,366.35 €	4.0%
132,000.18 €	4.1%
128,668.69 €	4.2%
125,371.44 €	4.3%
122,108.02 €	4.4%
118,878.00 €	4.5%
115,680.97 €	4.6%
112,516.51 €	4.7%
109,384.22 €	4.8%
106,283.71 €	4.9%
103,214.58 €	5.0%

Είναι εμφανές από τον πίνακα πως ακόμα μία φορά η ΚΠΑ είναι θετική για κάθε επιτόκιο προεξόφλησης, επομένως η επένδυση εγκρίνεται. Το γεγονός πως όσο αυξάνονται οι μονάδες Εξόρυξης Λυμάτων, που θεωρείται ότι περιλαμβάνει η προτεινόμενη επένδυση, η ΚΠΑ επίσης αυξάνεται έγκειται στην παρατήρηση πως τα έσοδα που προκύπτουν με την αύξηση των μονάδων υπερνικούν την αύξηση στα λειτουργικά έξοδα. Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι σημαντική γιατί προκύπτει παρόλο που δεν έχουν ληφθεί υπόψη τα πιθανά έσοδα από την ανάκτηση ενέργειας μέσω του Sewer Mining που θα καθιστούσαν την επένδυση ακόμη πιο ελκυστική.

Όσον αφορά τον Εσωτερικό Βαθμό απόδοσης αυτός προκύπτει στην προκειμένη περίπτωση ίσος με $EBA = 9,11\%$ και όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις είναι μεγαλύτερος του επιτοκίου προεξόφλησης με αποτέλεσμα να ικανοποιείται το κριτήριο και η επένδυση να θεωρείται βιώσιμη.

Οι οικονομικές αναλύσεις που προηγήθηκαν και αφορούσαν αποκλειστικά το κατά πόσο η τεχνολογία του Sewer Mining είναι βιώσιμη ή όχι είναι, ιδιαίτερα σημαντικές και επιτρέπουν την εξαγωγή αρκετών θετικών παρατηρήσεων. Φυσικά το βασικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι πως η τεχνολογία είναι συμφέρουσα και μάλιστα πως ακόμα και η επένδυση σε μεγαλύτερο πλήθος μονάδων μπορεί να αποφέρει κέρδος στη διάρκεια ζωής της παρά το μεγάλο αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται αλλά και το σημαντικό λειτουργικό κόστος.

Στις επόμενες ενότητες η οικονομική ανάλυση διευρύνεται και λαμβάνει υπόψη το συνολικό κόστος που θα κληθεί να πληρώσει το Φυτόριο σε κάθε περίπτωση και όχι μόνο το κόστος/κέρδος λόγω της Εξόρυξης Λυμάτων. Αυτό ήταν απαραίτητο για να υπάρχει μία κοινή

βάση σύγκρισης για όλες τις προτάσεις που εξετάζονται σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

6.2.4 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 1

Το σενάριο 1 αναφέρεται σε διάταξη με μία Μ.Ε.Λ., η οποία χρησιμοποιείται για τη μερική κάλυψη των αναγκών του Φυτωρίου σε νερό. Πέρα από την μονάδα, προβλέπεται η εγκατάσταση και λειτουργία μίας αντλίας πλησίον του φρεατίου της ΕΥΔΑΠ για την άντληση των λυμάτων.

Όσον αφορά το αρχικό κόστος αλλά και το ετήσιο λειτουργικό κόστος της μονάδας ισχύει ο Πίνακας 6.5 της §6.2.1. Στη συνέχεια, είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί το κόστος του νερού που καταναλώνει το Φυτώριο, όταν είναι σε λειτουργία μία μονάδα Ε.Λ.. Λόγω της μονάδας η ανάγκη για κατανάλωση πόσιμου νερού μειώνεται, όπως έχει προαναφερθεί, αφού ενώ η ετήσια ανάγκη για νερό παραμένει στα 62.250 m³/έτος, πλέον τα 9.125 m³/έτος καλύπτονται από τη μονάδα. Απόρροια των παραπάνω είναι το νερό που προέρχεται από το δίκτυο ύδρευσης να είναι 53.125 m³/έτος. Τελικά το κόστος του νερού της ΕΥΔΑΠ φαίνεται στον Πίνακα 6.19:

Πίνακας 6.19 Κόστος κατανάλωσης νερού από την ΕΥΔΑΠ για το σενάριο 1

Ετήσια Παροχή	53.125 m ³ /έτος
Ετήσιο Κόστος Νερού	62.085,8 €/έτος
Μοναδιαίο Κόστος Νερού	1.17 €/m ³

Εφόσον είναι γνωστά τα μεμονωμένα οικονομικά μεγέθη είναι πλέον δυνατό να συμπληρωθεί ο πίνακας ταμειακών ροών του σεναρίου 1. Η διαδικασία δεν διαφέρει σε σχέση με τα προηγούμενα, επομένως δεν είναι σκόπιμο να παρουσιασθεί εκ νέου αναλυτικά. Η διαφορά σε αυτόν τον πίνακα έγκειται στο γεγονός πως πλέον αφού αναφέρεται στη συνολική δραστηριότητα του Φυτωρίου και όχι αποκλειστικά στη Μ.Ε.Λ., δεν λαμβάνεται ως έσοδο η παραγόμενη από τη μονάδα ποσότητα νερού (Εξοικονόμηση Νερού), αφού το “κέρδος” που προσφέρει θεωρείται έμμεσα με την μείωση του νερού από το δίκτυο ύδρευσης που καταναλώνει η εγκατάσταση.

Ο πίνακας φαίνεται αναλυτικά παρακάτω:

Πίνακας 6.20 Πίνακας Ταμειακών Ροών Σεναρίου 1

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	Μονάδα Ε.Λ.	Αντλία	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	Μονάδα Ε.Λ.	Αντλία	Κόστος ΕΥΔΑΠ	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	52890	49275	3615								-52890
1				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
2				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
3				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
4				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
5				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
6				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
7				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
8				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
9				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
10				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
11				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
12				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
13				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
14				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5
15				156	156	67013.52	4562.5	365.18	62085.84	-66857.5	-66857.5

Στη συνέχεια υπολογίζεται, κατά τα γνωστά, η Καθαρή Παρούσα Αξία για τα 15 διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης η οποία δίνεται στον πίνακα 6.21:

Πίνακας 6.21 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 1)

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
-822,915.57 €	3.5%
-817,467.94 €	3.6%
-812,077.06 €	3.7%
-806,742.22 €	3.8%
-801,462.72 €	3.9%
-796,237.85 €	4.0%
-791,066.93 €	4.1%
-785,949.29 €	4.2%
-780,884.26 €	4.3%
-775,871.19 €	4.4%
-770,909.43 €	4.5%
-765,998.34 €	4.6%
-761,137.29 €	4.7%
-756,325.66 €	4.8%
-751,562.84 €	4.9%
-746,848.23 €	5.0%

Τα αποτελέσματα του πίνακα παρουσιάζουν μία σημαντική απόκλιση σε σχέση με τους πίνακες της ΚΠΑ που παρουσιάστηκαν παραπάνω, αφού στην προκειμένη περίπτωση είναι εμφανές πως η ΚΠΑ είναι αρνητική. Αυτό είναι λογικά και δεν εξαρτάται από το κόστος της μονάδας Ε.Λ., αλλά ως επί το πλείστον από το κόστος της ετήσιας κατανάλωσης νερού και τα περιορισμένα ετήσια έσοδα του Φυτωρίου. Οι τιμές του πίνακα δείχνουν πως αν το Φυτόριο αποφάσιζε να προχωρήσει στην επένδυση, τα χρήματα που θα καλούταν να ξοδέψει για να προεξοφλήσει όλες τις μελλοντικές πληρωμές του έργου θα ήταν μεταξύ 822.915 € και 746.848 € (ανάλογα με το επιλεγμένο επιτόκιο προεξόφλησης). Το γεγονός πως όσο το επιτόκιο αυξάνεται η ΚΠΑ μειώνεται είναι επίσης λογικό, καθώς αύξηση του επιτοκίου σημαίνει μεγαλύτερη απαξίωση του χρήματος σε βάθος χρόνου. Αυτό έχει ως απόρροια το ποσό που θα κληθεί να πληρώσει το Φυτόριο σε βάθος χρόνου για ένα μεγάλο επιτόκιο (π.χ. 5 %) να είναι μικρότερο σε σχέση με το αντίστοιχο ποσό που θα πληρώσει για ένα μικρότερο επιτόκιο. Είναι σημαντικό, τέλος, να επισημανθεί πως ενώ αρνητική ΚΠΑ σημαίνει πως η επένδυση είναι ζημιογόνα, σκοπός της συγκριτικής αξιολόγησης είναι να προσδιορίσει αν η επένδυση είναι πιο συμφέρουσα σε σχέση με την υφιστάμενη οικονομική κατάσταση του Φυτωρίου.

6.2.5 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 2

Στο σενάριο 2 θεωρείται η παράλληλη λειτουργία 2 Μ.Ε.Λ. για την κάλυψη των αναγκών αρδευτικού νερού. Αντίστοιχα με το σενάριο 1, προβλέπεται επιπρόσθετα η εγκατάσταση και λειτουργία μίας αντλίας πλησίον του φρεατίου της ΕΥΔΑΠ για την άντληση των λυμάτων.

Οι δαπάνες για τη μονάδα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.9. Στο συγκεκριμένο σενάριο, έγινε η παραδοχή της σταθερής απόδοσης σε κλίμακα, η οποία όπως αναλύθηκε στην ενότητα 6.1, ορίζει ότι όταν η παραγωγή αυξάνεται αυξάνονται αναλογικά όλοι οι πόροι. Συγκεκριμένα, για το διπλασιασμό της παραγωγής νερού (2 λειτουργικές μονάδες), θα έχουμε διπλασιασμό

του αρχικού κόστους αλλά και του λειτουργικού κόστους. Σημαντική μεταβολή παρατηρείται και στο κόστος του νερού που καλείται να πληρώσει το Φυτόριο σε σχέση με το σενάριο 1. Πλέον, η ετήσια παραγωγή νερού διπλασιάζεται στα 18.250 m³/έτος, επομένως το πόσιμο νερό που καταναλώνει η εγκατάσταση για άρδευση μειώνεται στα 44.000 m³/έτος. Θεωρώντας ότι η τιμολόγηση του νερού δεν αλλάζει (δηλαδή το μοναδιαίο κόστος παραμένει σταθερό), υπολογίζεται το ετήσιο κόστος του νερού που προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ (Πίνακας 6.22).

Πίνακας 6.22 Κόστος κατανάλωσης νερού από την ΕΥΔΑΠ για το σενάριο 2

Ετήσια Παροχή	44.000 m ³ /έτος
Ετήσιο Κόστος Νερού	51.421,7 €/έτος
Μοναδιαίο Κόστος Νερού	1.17 €/m ³

Ο πίνακας ταμειακών ροών (Πίνακας 6.23) διαμορφώνεται με βάση τον πίνακα ταμειακών ροών της §6.2.2, με τη διαφορά πως πλέον συμπεριλαμβάνεται το κόστος κατανάλωσης νερού από την ΕΥΔΑΠ και αντίστοιχα παραλείπεται το κέρδος από την εξοικονόμηση νερού.

Πίνακας 6.23 Πίνακας Ταμειακών Ροών Σεναρίου 2

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	2 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	2 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	Κόστος ΕΥΔΑΠ	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	102165	98550	3615								-102165
1				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
2				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
3				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
4				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
5				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
6				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
7				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
8				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
9				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
10				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
11				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
12				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
13				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
14				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8
15				312	312	60911.87	9125	365.18	51421.69	-60599.8	-60599.8

Η Καθαρή Παρούσα Αξία υπολογίστηκε μέσω της συνάρτησης *NPV* του Excel θέτοντας στο όρισμα του επιτοκίου προεξόφλησης τις 15 προεπιλεγμένες τιμές και τα αποτελέσματα δίνονται στον αντίστοιχα Πίνακα 6.24.

Πίνακας 6.24 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 2)

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
-800,118.57 €	3.5%
-795,180.82 €	3.6%
-790,294.51 €	3.7%
-785,459.00 €	3.8%
-780,673.63 €	3.9%
-775,937.80 €	4.0%
-771,250.86 €	4.1%
-766,612.22 €	4.2%
-762,021.26 €	4.3%
-757,477.40 €	4.4%
-752,980.04 €	4.5%
-748,528.61 €	4.6%
-744,122.54 €	4.7%
-739,761.26 €	4.8%
-735,444.23 €	4.9%
-731,170.89 €	5.0%

Από τον πίνακα 6.24 προκύπτει ότι αν το Φυτώριο επιλέξει να προχωρήσει με τη συγκεκριμένη επένδυση, τα χρήματα που θα δώσει συνολικά για να προεξοφλήσει τις πληρωμές για το χρονικό ορίζονται των 15 ετών, κυμαίνονται από 800.118 € έως 731.170 € περίπου. Οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στο σενάριο 1 σχετικά με το επιτόκιο προεξόφλησης και πως η μεταβολή του επηρεάζει την ΚΠΑ, αλλά και για το γεγονός πως η ΚΠΑ προκύπτει αρνητική ισχύουν και στην προκειμένη περίπτωση.

6.2.6 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 3

Το σενάριο 3 προέκυψε στη λογική της πλήρους υποκατάστασης της υφιστάμενης κατάστασης. Συγκεκριμένα, το ερώτημα που τέθηκε είναι τι κόστος θα προκύψει αν όλες οι ανάγκες νερού του Φυτωρίου ικανοποιούνταν από νερό που παράγεται εντός της εγκατάστασης μέσω του Ε.Λ.. Στη προκειμένη περίπτωση για να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες της εγκατάστασης απαιτείται η λειτουργία 7 παράλληλων μονάδων.

Με την ισχύουσα παραδοχή της σταθερής απόδοσης σε κλίμακα, υπολογίζονται τα κόστη των μονάδων (αρχικά και λειτουργικά) τα οποία δίνονται στον πίνακα 6.13.

Η ετήσια παραγωγή νερού στην περίπτωση που λειτουργούν 7 μονάδες είναι 63.875 m³/έτος (αντίστοιχα με το κόστος, είναι η παραγωγή της μίας μονάδας πολλαπλασιασμένη επί το πλήθος των μονάδων). Με δεδομένο πως οι ετήσιες ανάγκες νερού ανέρχονται στα 62.250 m³/έτος, προκύπτει μία πλεονάζουσα ποσότητα νερού η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εντός της εγκατάστασης για άλλες χρήσεις (τουαλέτες, καθαρισμός εξωτερικών ή εσωτερικών χώρων κ.ά). Θεωρούμε επομένως ένα νέο έσοδο στο σενάριο 3, που προκύπτει από την εξοικονόμηση της κατανάλωσης νερού του δικτύου για τις παραπάνω χρήσεις. Για τον υπολογισμό του

συνολικού ποσού θεωρούμε πως το μοναδιαίο κόστος είναι και πάλι 1.17 €/m³, οπότε τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 6.25.

Πίνακας 6.25 Δεδομένα για την παραγωγή νερού μέσω της Εξόρυξης Λυμάτων (Σενάριο 3)

Ετήσια Παραγωγή Νερού	63.875 m ³ /έτος
Πλεονάζον Νερό	1625 m ³ /έτος
Ετήσια Παροχή νερού από ΕΥΔΑΠ	0 m ³ /έτος
Μοναδιαίο Κόστος νερού	1.17 €/m ³
Κέρδος από πλεονάζον νερό	1901,3 €/έτος
Ετήσιο Κόστος για ΕΥΔΑΠ	0 €/έτος

Ο Πίνακας Ταμειακών Ροών κατασκευάζεται σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στα σενάρια 1 και 2, με τη διαφορά της προσθήκης μίας στήλης ακόμα για τον συνυπολογισμό του εσόδου από την περίσσεια νερού (Πίνακας 6.26).

Πίνακας 6.26 Πίνακας Ταμειακών Ροών Σεναρίου 3

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	7 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΕΞΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	Πλεονάζον Νερό	ΕΞΟΔΑ	7 Μονάδες Ε.Λ.	Αντλία	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	348540	344925	3615								-348540
1				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
2				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
3				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
4				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
5				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
6				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
7				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
8				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
9				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
10				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
11				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
12				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
13				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
14				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4
15				2993.3	1092	1901.3	32302.7	31937.5	365.2	-29309.4	-29309.4

Από τη στήλη της Καθαρής ταμειακής ροής είναι εμφανές πως ενώ στα προηγούμενα σενάρια που εξετάστηκαν υπήρχε μία σχετική ισορροπία μεταξύ του αρχικού κόστους της επένδυσης και των ετήσιων δαπανών, στην προκειμένη περίπτωση η αρχική δαπάνη είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις ετήσιες πληρωμές που καλείται να πραγματοποιήσει το Φυτόριο. Αυτό, βέβαια, εξηγείται και από το γεγονός πως σε αυτό το σενάριο τα έσοδα της εγκατάστασης είναι αυξημένα με αποτέλεσμα η αναλογία εσόδων – εξόδων να είναι πιο ισορροπημένη. Η Καθαρή Παρούσα Αξία για το σενάριο 3 παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.27.

Πίνακας 6.27 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 3)

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
-686,108.75 €	3.5%
-683,720.58 €	3.6%
-681,357.29 €	3.7%
-679,018.57 €	3.8%
-676,704.11 €	3.9%
-674,413.60 €	4.0%
-672,146.74 €	4.1%
-669,903.24 €	4.2%
-667,682.80 €	4.3%
-665,485.13 €	4.4%
-663,309.96 €	4.5%
-661,157.01 €	4.6%
-659,025.99 €	4.7%
-656,916.64 €	4.8%
-654,828.68 €	4.9%
-652,761.86 €	5.0%

Κατ' αναλογία με τα προηγούμενα, στη συγκεκριμένη περίπτωση τα χρήματα που απαιτούνται σήμερα για την προεξόφληση όλων των μελλοντικών πληρωμών για τα 15 έτη της ανάλυσης βρίσκονται μεταξύ 686.108 € (για επιτόκιο προεξόφλησης 3,5 %) και 652.761€ (για επιτόκιο προεξόφλησης 5 %).

6.2.7 Οικονομική Ανάλυση Σεναρίου 4

Το τελευταίο σενάριο που εξετάζεται σε αυτό το κομμάτι της συγκριτικής αξιολόγησης είναι αυτό που περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση. Το Φυτόριο, όπως είναι γνωστό από προηγούμενα, προμηθεύεται σήμερα το νερό που χρειάζεται για την άρδευση των εκτάσεων του αποκλειστικά από την ΕΥΔΑΠ. Ο υπολογισμός της ΚΠΑ για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι απλός, αφού η μόνη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη είναι το ετήσιο κόστος κατανάλωσης νερού από την ΕΥΔΑΠ το οποίο ανέρχεται στα 72.750 €/έτος. Ο υπολογισμός της ΚΠΑ γίνεται μέσω του αναλυτικού τύπου (6.3). Για παράδειγμα για επιτόκιο προεξόφλησης 3,5 % και μηδενική αρχική επένδυση, η σχέση λαμβάνει τη μορφή:

$$ΚΠΑ_{0,035} = \left[\sum_{t=1}^{15} \frac{72.750}{(1 + 0,35)^t} \right] - 0 \quad (6.7)$$

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα επιτόκια προεξόφλησης δίνονται στον πίνακα 6.28.

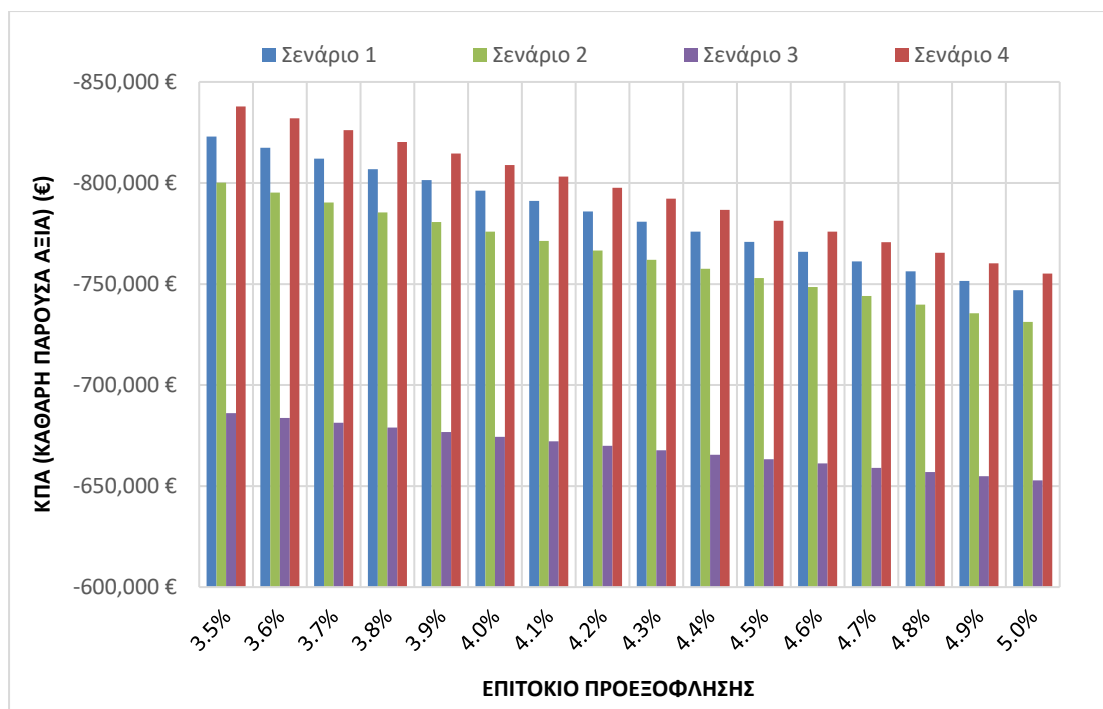
Πίνακας 6.28 Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης (Σενάριο 4)

NPV	Επιτόκιο Προεξόφλησης
-837,891.64 €	3.5%
-831,963.89 €	3.6%
-826,097.89 €	3.7%
-820,292.86 €	3.8%
-814,548.05 €	3.9%
-808,862.69 €	4.0%
-803,236.03 €	4.1%
-797,667.35 €	4.2%
-792,155.92 €	4.3%
-786,701.02 €	4.4%
-781,301.95 €	4.5%
-775,958.02 €	4.6%
-770,668.54 €	4.7%
-765,432.84 €	4.8%
-760,250.25 €	4.9%
-755,120.12 €	5.0%

6.2.8 Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1,2,3 και 4

Από τη στιγμή που έχει προσδιοριστεί η Καθαρή Παρούσα Αξία κάθε σεναρίου, είναι πλέον δυνατό να πραγματοποιηθεί η συγκριτική αξιολόγησή τους. Αξίζει σε αυτό το σημείο να επισημανθεί, ότι για τα σενάρια 1,2,3 και 4 δεν χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης του Κεφαλαίου, καθώς λόγω των αρνητικών ταμειακών ροών, ο ΕΒΑ δεν είναι μοναδικός για κάθε εξεταζόμενο σενάριο και ο προσδιορισμός του είναι ιδιαίτερα επίπονος.

Στην προκειμένη περίπτωση όλα τα σενάρια παρουσιάζουν αρνητικές Καθαρές Παρούσες Αξίες. Πρακτικά, όλες οι προτεινόμενες επενδύσεις (αλλά και η υφιστάμενη κατάσταση) είναι ζημιογόνες για το Φυτόριο και μάλιστα εκτιμάται ότι θα συνεχίσουν να είναι σε όλη τη χρονική περίοδο που μελετήθηκε. Η αξιολόγηση επομένως, έγκειται στον προσδιορισμό της πιο συμφέρουσας από τις 4 πιθανές περιπτώσεις. Στο σχήμα 6.2 παρουσιάζονται σε κοινό διάγραμμα οι ΚΠΑ των 4 σεναρίων. Στον κατακόρυφο άξονα είναι οι Καθαρές Παρούσες Αξίες σε €, ενώ στον οριζόντιο τα επιτόκια προεξόφλησης σε ποσοστό επί τοις εκατό. Σε κάθε τιμή του επιτοκίου αντιστοιχούν 4 μπάρες που αντιπροσωπεύουν τα εξεταζόμενα σενάρια. Είναι εμφανές, πως το Σενάριο 4 (υφιστάμενη κατάσταση) είναι η πλέον ασύμφορη επιλογή για το Φυτόριο, αφού για όλα τα επιτόκια που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση παρουσιάζει την μεγαλύτερη (αρνητική) ΚΠΑ.



Σχήμα 6.2 Συγκριτικό διάγραμμα της ΚΠΑ των σεναρίων 1,2,3,4 για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης

Πιο συγκεκριμένα, από το διάγραμμα προκύπτει ότι η σειρά προτίμησης (από την πλέον συμφέρουσα στην πλέον ζημιόγωνα) για τις παραπάνω προτάσεις είναι:

1. Σενάριο 3: Λειτουργία 7 μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων και πλήρης κάλυψη των αναγκών του Φυτωρίου με το παραγόμενο νερό
2. Σενάριο 2: Λειτουργία 2 μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων, κάλυψη των αναγκών του Φυτωρίου με το παραγόμενο νερό σε συνδυασμό με νερό από το δίκτυο ύδρευσης.
3. Σενάριο 1: Λειτουργία 1 μονάδας Εξόρυξης Λυμάτων, κάλυψη των αναγκών του Φυτωρίου με το παραγόμενο νερό σε συνδυασμό με νερό από το δίκτυο ύδρευσης.
4. Σενάριο 4: Υφιστάμενη κατάσταση, πλήρης κάλυψη των αναγκών του Φυτωρίου με πόσιμο νερό από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ

Η αρχική σύγκριση που παρουσιάζεται είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντική, αφού καταδεικνύει έμπρακτα πως η τεχνολογία του Sewer Mining, πέρα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σχετικά με την ανακύκλωση πόρων και υλικών στα πλαίσια του μοντέλου της Κυκλικής Οικονομίας, μπορεί να αποφέρει και σημαντικά οικονομικά οφέλη σε σχέση με συμβατικές λύσεις όπως είναι η άρδευση με πόσιμο νερό που κατά κόρον εφαρμόζεται. Με δεδομένο μάλιστα πως η ανάλυση ήταν αρκετά συντηρητική, αφού δεν λάβαμε υπόψη τα πιθανά έσοδα από την ανάκτηση θερμικής ενέργειας κατά την επεξεργασία των λυμάτων, η τεχνολογία του Sewer Mining μπορεί να αποδειχθεί περισσότερο ελκυστική.

Πέρα από τον προσδιορισμό της ΚΠΑ του κάθε σεναρίου για τα διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης, είναι επίσης χρήσιμο να υπολογιστεί πως η ποσοστιαία μεταβολή του ποσοστού προεξόφλησης επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό την μεταβολή της ΚΠΑ. Η μέθοδος με την οποία είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε το παραπάνω δείκτη ονομάζεται ανάλυση ευαισθησίας και εφαρμόζεται ως εξής:

- Επιλέγεται η παράμετρος για την οποία θέλουμε να προσδιορίσουμε την ευαισθησία μίας τιμής. Στην προκειμένη περίπτωση, μας ενδιαφέρει να δούμε πως η μεταβολή του επιτοκίου προεξόφλησης (παράμετρος) μεταβάλλει την ΚΠΑ (τιμή).
- Επιλέγεται ένα εύρος τιμών (εδώ οι ήδη προσδιορισμένες τιμές του επιτοκίου που κυμαίνονται από 3,5 % - 5% ανά 0,1 %).
- Θεωρούμε αρχική τιμή μία τιμή στο μέσο του εύρους (εδώ το $i = 4,2\%$) και υπολογίζουμε τις ποσοστιαίες μεταβολές για τις υπόλοιπες τιμές (θετικές και αρνητικές μεταβολές).
- Για τις παραπάνω τιμές της παραμέτρους υπολογίζουμε την ΚΠΑ.
- Υπολογίζουμε με αντίστοιχο τρόπο την ποσοστιαία μεταβολή της ΚΠΑ.

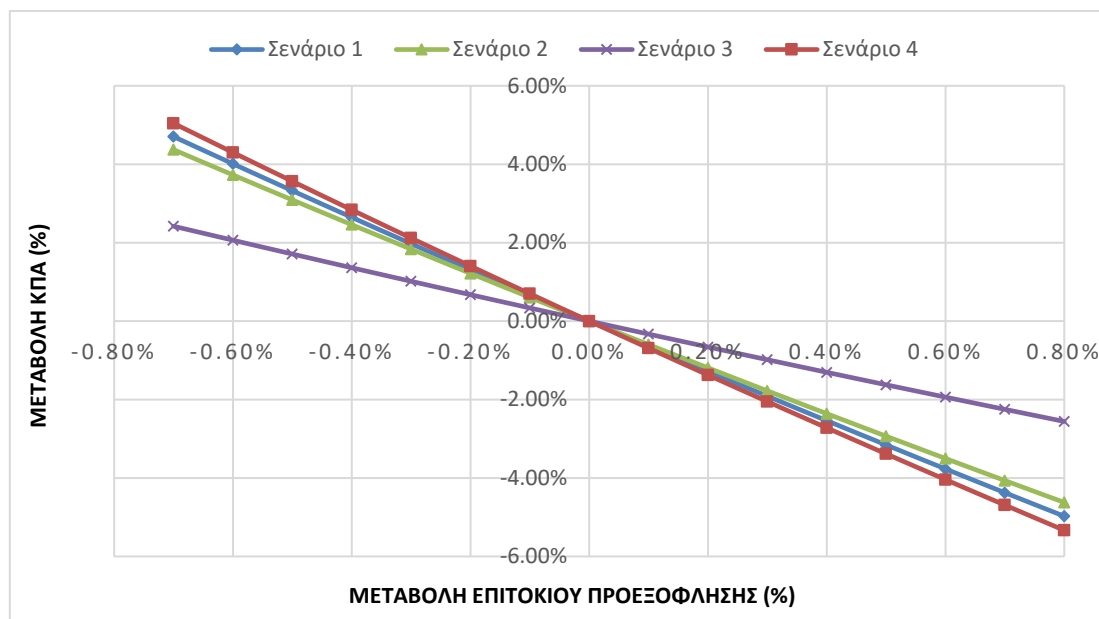
Τα αποτελέσματα δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 6.29 αλλά και εποπτικά στο Σχήμα 6.3

Πίνακας 6.29 Συγκριτικά αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας ΚΠΑ σε σχέση με το επιτόκιο προεξόφλησης για τα σενάρια 1,2,3,4

Τιμή Επιτοκίου	Μεταβολή επιτοκίου	Μεταβολή ΚΠΑ			
		Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
3.5%	-0.7%	4.70%	4.37%	2.42%	5.04%
3.6%	-0.6%	4.01%	3.73%	2.06%	4.30%
3.7%	-0.5%	3.32%	3.09%	1.71%	3.56%
3.8%	-0.4%	2.65%	2.46%	1.36%	2.84%
3.9%	-0.3%	1.97%	1.83%	1.02%	2.12%
4.0%	-0.2%	1.31%	1.22%	0.67%	1.40%
4.1%	-0.1%	0.65%	0.61%	0.33%	0.70%
4.2%	0.0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4.3%	0.1%	-0.64%	-0.60%	-0.33%	-0.69%
4.4%	0.2%	-1.28%	-1.19%	-0.66%	-1.37%
4.5%	0.3%	-1.91%	-1.78%	-0.98%	-2.05%
4.6%	0.4%	-2.54%	-2.36%	-1.31%	-2.72%
4.7%	0.5%	-3.16%	-2.93%	-1.62%	-3.38%
4.8%	0.6%	-3.77%	-3.50%	-1.94%	-4.04%
4.9%	0.7%	-4.38%	-4.07%	-2.25%	-4.69%
5.0%	0.8%	-4.98%	-4.62%	-2.56%	-5.33%

Είναι εμφανές πως το σενάριο 4 είναι αυτό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία στην αλλαγή του επιτοκίου προεξόφλησης ενώ ακολουθούν το σενάριο 1, το σενάριο 2 και τέλος το σενάριο 3. Για παράδειγμα για μεταβολή του επιτοκίου από το 4,2 % στο 4,7 % (δηλαδή κατά 0,5 %) η αντίστοιχη μεταβολή της ΚΠΑ των σεναρίων 1,2,3 και 4 είναι : -3,16 %, -2,93 %, -1,62 % και - 3,38 %. Όπως έχουμε αναφέρει στην §6.1, το επιτόκιο προεξόφλησης χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αλλαγή της αξίας του χρήματος στο χρόνο και εμπριέχονται σε αυτό οι έννοιες του πληθωρισμού και του ρίσκου. Μεγάλο επιτόκιο σημαίνει πως το ρίσκο για το μέλλον είναι μεγαλύτερο, με αποτέλεσμα η αβεβαιότητα να οδηγεί σε μεγαλύτερη απαξίωση του χρήματος. Κατά συνέπεια, τα σενάρια που παρουσιάζουν μεγαλύτερες μεταβολές είναι αυτά που είναι πιο ευάλωτα σε αλλαγές του οικονομικού

περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια ζωής μίας επένδυσης, με απόρροια να είναι λιγότερο ελκυστικά για του επενδυτές (ιδιώτες και δημόσιο).

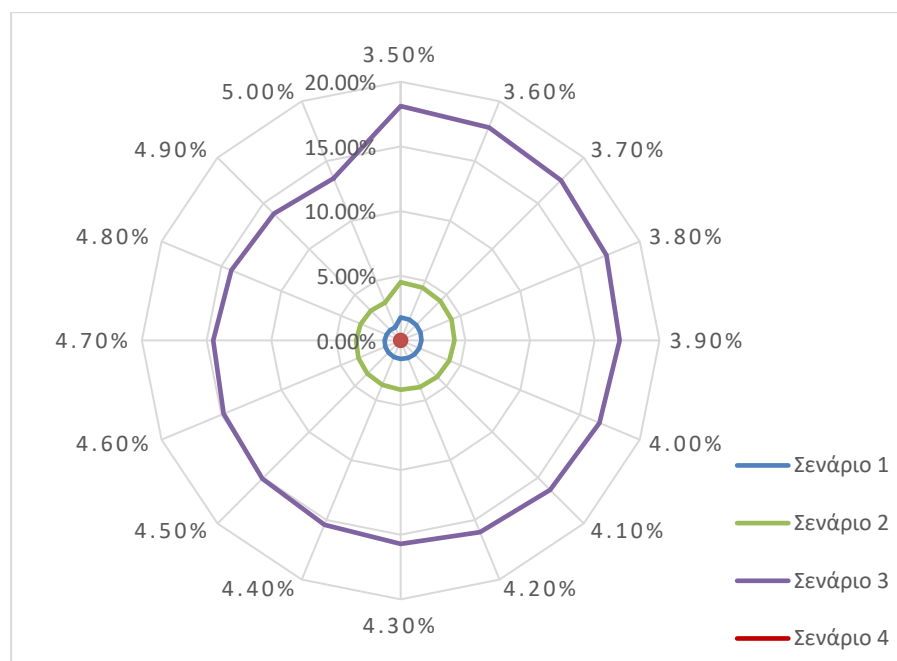


Σχήμα 6.3 Συγκριτικά αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας ΚΠΑ σε σχέση με το επιτόκιο προεξόφλησης για τα σενάρια 1,2,3,4

Μία ακόμα παράμετρος που έχει ενδιαφέρον να διερευνηθεί, είναι το όφελος που προκύπτει για κάθε σενάριο σε σχέση με το σενάριο 4, το οποίο αντιπροσωπεύει την υπάρχουσα κατάσταση του Φυτωρίου. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε και παρουσιάζεται (Πίνακας 6.30 και Σχήμα 6.4) η σύγκριση μεταξύ της ΚΠΑ του κάθε σεναρίου σε σχέση με την ΚΠΑ του σεναρίου 4 για το κάθε επιτόκιο προεξόφλησης που έχουμε ορίσει. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ενδιαφέρον, αφού γίνεται εμφανές πόσο συμφέρουσα είναι η περίπτωση της πλήρους κάλυψης των αναγκών μέσω των μονάδων Sewer Mining. Συγκεκριμένα, για επιτόκιο 3,5 % παρατηρούμε πως το όφελος της άμεσης αποπληρωμής του συνόλου του κόστους που θα προκύψει στα 15 χρόνια μελέτης για κάθε σενάριο σε σχέση με το σενάριο 4 είναι :1,79 % για το σενάριο 1, 4,51 % για το σενάριο 2 και 18,11 % για το σενάριο 3. Σε κάθε περίπτωση είναι ιδιαίτερα θετικό το γεγονός πως σύμφωνα με την οικονομική ανάλυση η επένδυση στη τεχνολογία του Sewer Mining φαίνεται πως αποτελεί για το Φυτόριο μία εξαιρετικά συμφέρουσα λύση με αρκετές προοπτικές επέκτασης.

Πίνακας 6.30 Σύγκριση Οφέλους ΚΠΑ σεναρίων 1,2,3,4 για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης

Επιτόκιο Προεξόφλησης (%)	Όφελος			
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
3.5%	1.79%	4.51%	18.11%	0.00%
3.6%	1.74%	4.42%	17.82%	0.00%
3.7%	1.70%	4.33%	17.52%	0.00%
3.8%	1.65%	4.25%	17.22%	0.00%
3.9%	1.61%	4.16%	16.92%	0.00%
4.0%	1.56%	4.07%	16.62%	0.00%
4.1%	1.52%	3.98%	16.32%	0.00%
4.2%	1.47%	3.89%	16.02%	0.00%
4.3%	1.42%	3.80%	15.71%	0.00%
4.4%	1.38%	3.71%	15.41%	0.00%
4.5%	1.33%	3.62%	15.10%	0.00%
4.6%	1.28%	3.53%	14.79%	0.00%
4.7%	1.24%	3.44%	14.49%	0.00%
4.8%	1.19%	3.35%	14.18%	0.00%
4.9%	1.14%	3.26%	13.87%	0.00%
5.0%	1.10%	3.17%	13.56%	0.00%



Σχήμα 6.4 Σύγκριση Οφέλους ΚΠΑ σεναρίων 1,2,3 και 4 για διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης

Αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και η σύγκριση της κατανομής των δαπανών που προκύπτουν για κάθε προτεινόμενη επένδυση. Με δεδομένο ότι συχνά, το αρχικό κεφάλαιο που είναι διαθέσιμο για την χρηματοδότηση μίας επένδυσης είναι καθορισμένο, έχει σημασία να προσδιορισθεί πόσο από το συνολικό κόστος (λειτουργικό και αρχικό) θα κληθεί να

πληρώσει κάποιος για την έναρξη του έργου. Στον Πίνακα 6.31 δίνονται, τα αρχικά, τα λειτουργικά και τα συνολικά κόστη κάθε σεναρίου. Τα λειτουργικά κόστη υπολογίσθηκαν πολλαπλασιάζοντας το ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης επί τα έτη του χρονικού ορίζοντα της μελέτης, ενώ το συνολικό κόστος είναι το άθροισμα αρχικού και λειτουργικού κόστους. Στα ποσά που αναγράφονται τον πίνακα δεν έχει ληφθεί υπόψη το επιτόκιο προεξόφλησης (στατική ανάλυση).

Πίνακας 6.31 Σύγκριση συμμετοχής αρχικού και λειτουργικού κόστους στο συνολικό κόστος για τα σεναρία 1,2,3,4

Σενάριο	Αρχικό Κόστος	Λειτουργικό Κόστος	Συνολικό Κόστος	Αρχικό/ Συνολικό Κόστος (%)	Λειτ./ Συνολικό Κόστος (%)
1ο	52,890.00 €	1,005,202.85 €	1,058,092.85 €	5.00%	95.00%
2ο	102,165.00 €	913,678.00 €	1,015,843.00 €	10.06%	89.94%
3ο	348,540.00 €	484,540.20 €	833,080.20 €	41.84%	58.16%
4ο	- €	1,091,250.00 €	1,091,250.00 €	0.00%	100.00%

Παρατηρούμε, πως όπως είναι λογικό το σενάριο 4 στο οποίο δεν προβλέπεται κάποια επέμβαση έχει μηδενικό αρχικό κόστος και όλα τα χρήματα διατίθενται για πληρωμή των ετήσιων δαπανών. Αντίστοιχα στα σεναρία 1,2 και 3, τα οποία περιλαμβάνουν την εγκατάσταση και λειτουργία νέων τεχνολογιών απαιτείται ένα χρηματικό ποσό για την αρχική επένδυση. Μία ενδιαφέρουσα επισήμανση έχει να κάνει με τη σύνδεση της ΚΠΑ και του ποσοστού αρχικού ή λειτουργικού κόστους ως προς το συνολικό. Στο σενάριο 1 που το μεγαλύτερο ποσοστό των χρημάτων δίνεται για την συντήρηση και τη λειτουργία της εγκατάστασης, η ΚΠΑ είναι μεγαλύτερη (αρνητική) από ότι στο σενάριο 3 που τα κόστη είναι πιο ισορροπημένα μεταξύ αρχικού και λειτουργικού κόστους. Αυτό εξηγείται καθώς το αρχικό κόστος της επένδυσης δίνεται πριν την έναρξη του έργου και επομένως δεν απαξιώνεται η αξία του ποσού σε αντίθεση με τα λειτουργικά κόστη που λόγω της έννοιας της διαχρονικής αξίας του χρήματος μειώνεται η αξία τους με την πάροδο των ετών.

6.2.9 Υποσενάρια Οικονομίας Κλίμακας και καμπύλης Εμπειρίας

Ως επέκταση της βασικής οικονομικής ανάλυσης που παρουσιάζεται στις προηγούμενες ενότητες και εστιάζεται στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας της τεχνολογίας του Sewer Mining στα πλαίσια μίας επένδυσης όπως αυτή που προτείνεται στο Φυτόριο του Δήμου Αθηναίων, αναλύονται σε αυτό το κομμάτι της εργασίας υποσενάρια που λαμβάνουν υπόψη τις Οικονομίες Κλίμακας και την Καμπύλη Εμπειρίας. Προς χάριν απλούστευσης η συγκεκριμένη ανάλυση αφορά μόνο το Σενάριο 2, δηλαδή την περίπτωση των δύο μονάδων Ε.Λ. και στόχος είναι να προσδιορισθεί κατά πόσο μία τέτοια ανάλυση επηρεάζει τα αποτελέσματα σε σχέση με τις αναλύσεις που προηγήθηκαν.

6.2.9.1 Αποτελέσματα για Οικονομίες Κλίμακας

Η θεωρία των οικονομιών κλίμακας ορίζει πως η σχέση μεταξύ της αύξησης της παραγωγής και της αύξησης του κόστους παραγωγής δεν είναι αναλογική. Η σχέση που διέπει τις οικονομίες κλίμακας έχει την εξής μορφή (Διακουλάκη Δ. & Τσακανίκας Άγγελος):

$$K_{i+1} = K_1 \left(\frac{A_{i+1}}{A_1} \right)^n \quad (6.7)$$

όπου, το n ένας συντελεστής που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,5 και 1 ($n=1$ αμελητέες οικονομίες κλίμακας)

K είναι το κόστος ανά μονάδα παραγωγής

Δ είναι η δυναμικότητα παραγωγής

Για την περίπτωση που αντί για μία εγκαθίστανται δύο Μ.Ε.Λ., ισχύει $\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = 2$. Η περίπτωση που θεωρεί αμελητέες οικονομίες κλίμακας (για $n = 1$) έχει αναλυθεί στην §6.2.2, με αποτέλεσμα εδώ να εξετάζονται 5 υποπεριπτώσεις οι οποίες είναι :

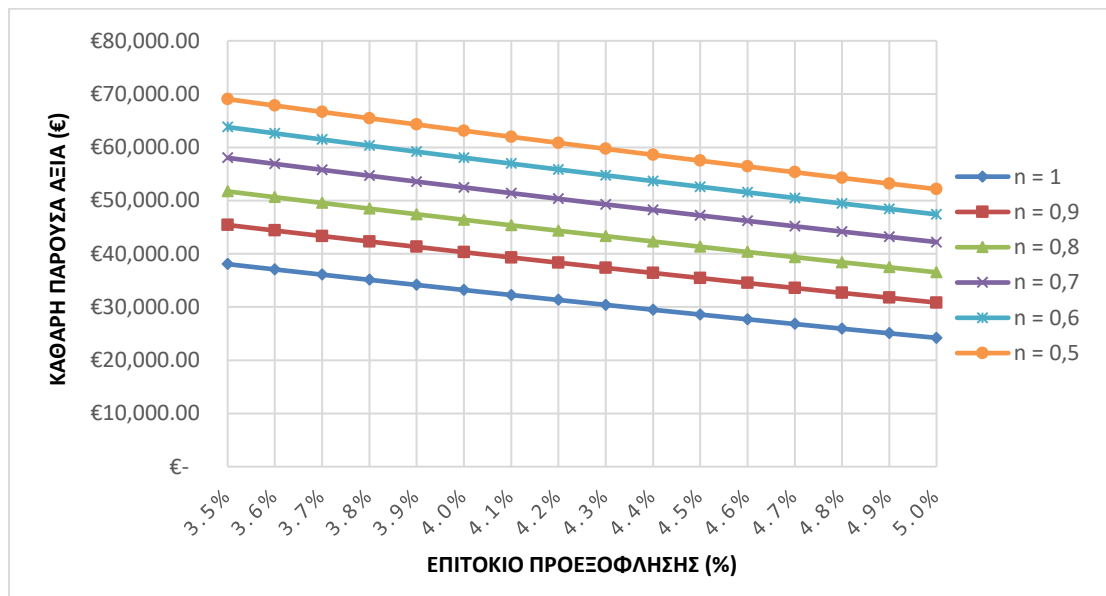
- για $n = 0,9 \rightarrow K_2 = K_1(2)^{0,9} \rightarrow K_2 = 1,86K_1$
- για $n = 0,8 \rightarrow K_2 = K_1(2)^{0,8} \rightarrow K_2 = 1,74K_1$
- για $n = 0,7 \rightarrow K_2 = K_1(2)^{0,7} \rightarrow K_2 = 1,62K_1$
- για $n = 0,6 \rightarrow K_2 = K_1(2)^{0,6} \rightarrow K_2 = 1,51K_1$
- για $n = 0,5 \rightarrow K_2 = K_1(2)^{0,5} \rightarrow K_2 = 1,41K_1$

Η διαδικασία σχηματισμού των πινάκων ταμειακών ροών δε διαφέρει σε σχέση με τα προηγούμενα, εντούτοις σε αυτή την ανάλυση υπολογίζεται το λειτουργικό κόστος των δύο μονάδων σύμφωνα με του συντελεστές για n μεταξύ 0,5 και 0,9. Εκτός από το λειτουργικό κόστος στον πίνακα εμφανίζονται οι ροές των αρχικών επενδύσεων (δεν αλλάζουν), των εσόδων από την πώληση υλός και την εξοικονόμηση νερού αλλά και των λειτουργικών εξόδων της αντλίας. Το κόστος της αντλίας δε θεωρείται ότι αφορά τις οικονομίες κλίμακας γιατί παρά την αύξηση των μονάδων η αντλία παραμένει μία.

Λόγω της ομοιότητας των πινάκων με αυτόν της ενότητας 6.2.2, η διαδικασία σχηματισμού των πινάκων δεν αναλύεται σε αυτή την ενότητα και οι πίνακες δεν δίνονται στο κύριο μέρος της εργασίας αλλά παρουσιάζονται πλήρεις στο παράρτημα. Τα αποτελέσματα της ΚΠΑ για των 5 εξεταζόμενων περιπτώσεων για τα 15 επιτόκια προεξόφλησης δίνονται στον Πίνακα 6.32.

Πίνακας 6.32 Η Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικούς συντελεστές n

Επιτόκιο Προεξ/σης (%)	ΚΠΑ (€)					
	n = 1	n = 0,9	n = 0,8	n = 0,7	n = 0,6	n = 0,5
3.5%	38,051.65 €	45,408.39 €	51,714.17 €	58,019.96 €	63,800.26 €	69,055.08 €
3.6%	37,059.67 €	44,364.37 €	50,625.54 €	56,886.71 €	62,626.12 €	67,843.76 €
3.7%	36,078.02 €	43,331.22 €	49,548.25 €	55,765.27 €	61,464.21 €	66,645.07 €
3.8%	35,106.58 €	42,308.81 €	48,482.15 €	54,655.49 €	60,314.38 €	65,458.83 €
3.9%	34,145.22 €	41,297.01 €	47,427.11 €	53,557.22 €	59,176.48 €	64,284.90 €
4.0%	33,193.81 €	40,295.68 €	46,382.99 €	52,470.31 €	58,050.35 €	63,123.12 €
4.1%	32,252.22 €	39,304.68 €	45,349.66 €	51,394.63 €	56,935.85 €	61,973.33 €
4.2%	31,320.33 €	38,323.90 €	44,326.97 €	50,330.03 €	55,832.84 €	60,835.39 €
4.3%	30,398.02 €	37,353.20 €	43,314.79 €	49,276.37 €	54,741.16 €	59,709.15 €
4.4%	29,485.17 €	36,392.46 €	42,312.99 €	48,233.53 €	53,660.68 €	58,594.46 €
4.5%	28,581.67 €	35,441.55 €	41,321.45 €	47,201.35 €	52,591.26 €	57,491.18 €
4.6%	27,687.39 €	34,500.35 €	40,340.04 €	46,179.72 €	51,532.76 €	56,399.17 €
4.7%	26,802.22 €	33,568.75 €	39,368.62 €	45,168.50 €	50,485.05 €	55,318.28 €
4.8%	25,926.06 €	32,646.61 €	38,407.08 €	44,167.56 €	49,447.99 €	54,248.39 €
4.9%	25,058.78 €	31,733.83 €	37,455.30 €	43,176.77 €	48,421.45 €	53,189.34 €
5.0%	24,200.28 €	30,830.29 €	36,513.15 €	42,196.01 €	47,405.30 €	52,141.02 €



Σχήμα 6.5 Η Καθαρή Παρούσα Αξία για διαφορετικούς συντελεστές n

Τα αποτελέσματα καθιστούν σαφές πως η ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη οικονομίες κλίμακας λειτουργεί θετικά όσον αφορά την ΚΠΑ της επένδυσης. Για n = 1, δηλαδή στην περίπτωση που αγνοηθεί η επίδραση των οικονομιών κλίμακας, το συνολικό όφελος της επένδυσης για τα δεκαπέντε χρόνια λειτουργίας (σε ΚΠΑ), κυμαίνεται από 38.051,65 € έως 24.200,28 €, ενώ για n = 0,5 το ποσό αυξάνεται σημαντικά και κυμαίνεται από 69.055,08 έως 52.141,02 €. Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζεται αναλυτικά η ΚΠΑ για κάθε n, για τα επιλεγμένα επιτόκια προεξόφλησης και γίνεται εμφανές πως η μείωση του συντελεστή (δηλαδή μείωση του λειτουργικού κόστους των δύο μονάδων) επιφέρει αύξηση της ΚΠΑ. Εκτός από την ΚΠΑ υπολογίζεται και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης του Κεφαλαίου ο οποίος δίνεται στον πίνακα 6.33.

Πίνακας 6.33 Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης για διαφορετικούς συντελεστές n

n	EBA
1	8.33%
0,9	9.18%
0,8	9.91%
0,7	10.62%
0,6	11.26%
0,5	11.83%

Από τη σκοπιά του επενδυτή, ο EBA είναι το επιτόκιο που αποδίδεται από το μέρος του επενδυμένου κεφαλαίου που δεν έχει ακόμα ανακτηθεί ώστε οι αναμενόμενες περιοδικές ωφέλειες να καθιστούν την αξία του ανακτηθέντος κεφαλαίου ίση με μηδέν στο τέλος της ζωής της επένδυσης (Παναγιωτακόπουλος Δ., 2008). Είναι δηλαδή ένας δείκτης της απόδοσης ενός έργου ή μίας επένδυσης. Στον πίνακα φαίνεται ότι η απόδοση της επένδυσης αυξάνεται όσο μειώνεται το λειτουργικό κόστος των μονάδων, το οποίο είναι λογικό.

Συμπερασματικά, είναι εμφανές πως αν ληφθούν υπόψη οικονομίες κλίμακας τόσο η απόδοση της επένδυσης όσο και η οικονομική αξία της βελτιώνονται σε σημαντικό βαθμό και την καθιστούν περισσότερο ελκυστική.

6.2.9.2 Αποτελέσματα για Καμπύλη Εμπειρίας

Η καμπύλη εμπειρίας περιγράφει, όπως αναφέρεται στην §6.1.3, την βελτίωση της απόδοσης του ανθρώπινου δυναμικού όταν επαναλαμβάνεται η ίδια εργασία. Με τον όρο βελτίωση της απόδοσης εννοείται τόσο η μείωση του κόστους για την παραγωγή, όσο και η αύξηση του μεγέθους παραγωγής (για παράδειγμα μέσω βελτιστοποίησης των παραμέτρων της Μ.Ε.Λ μετά από παρατήρηση κατά τη λειτουργία της, η με άλλα λόγια μετά από απόκτηση σχετικής εμπειρίας). Σε αντίθεση με τις οικονομίες κλίμακας, η καμπύλη εμπειρίας δεν εξαρτάται από την αύξηση των παραγωγικών συντελεστών αλλά από την πάροδο του χρόνου. Για το λόγο αυτό σε αυτό το κομμάτι θα αναφερθεί τόσο η περίπτωση που λειτουργεί μία Μ.Ε.Λ., όσο και η περίπτωση που λειτουργούν δύο μονάδες.

Στα πλαίσια της εργασίας επιλέχθηκε πως ο ρυθμός εμπειρίας θα είναι ίσος με 3 %. Αυτό σημαίνει πως η σχέση 6.7 θα πάρει τη μορφή:

$$Y_N = Y_1 N^{-b} \quad (6.8)$$

Ο όρος Y_1 αναφέρεται τόσο στο κόστος παραγωγής όσο και στη ποσότητα παραγωγής. Με άλλα λόγια επηρεάζει τις εξής παραμέτρους της επένδυσης:

- Την ποσότητα της ετήσιας παραγόμενης Ιλύος, η οποία θα βαίνει αυξανόμενη για κάθε έτος ($N = 1 - 15$). Εφόσον, η παραγωγή αυξάνεται ο συντελεστής $b = -3\%$ για να προκύπτει θετικό ο όρος της δύναμης.
- Την ποσότητα του ετήσιου παραγόμενου νερού, η οποία επίσης αυξάνεται για κάθε έτος που περνάει.
- Το ετήσιο λειτουργικό κόστος, το οποίο θα μειώνεται με την πάροδο των ετών, κατ' επέκταση ο συντελεστής $b = 3\%$, ώστε η δύναμη να είναι αρνητική.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται ο πίνακας ταμειακών ροών για την περίπτωση της μίας Μ.Ε.Λ. (Πίνακας 6.34). Είναι εμφανές πως για κάθε επόμενο έτος τα έσοδα αυξάνονται και τα έξοδα αντίστοιχα μειώνονται.

Πίνακας 6.34 Πίνακας Ταμειακών Ροών μίας Μ.Ε.Λ. για καμπύλη εμπειρίας με $b = 3\%$

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	Μ.Ε.Λ.	Αντλία	ΕΞΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	Εξοίμηση Νερού	ΕΞΟΔΑ	Μ.Ε.Λ.	Αντλία	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	52890	49275	3615								-52890
1				10832.25	156.00	10676.25	4927.68	4562.50	365.18	5904.57	5904.57
2				11059.86	159.28	10900.58	4833.79	4468.61	365.18	6226.07	6226.07
3				11195.21	161.23	11033.98	4779.76	4414.58	365.18	6415.45	6415.45
4				11292.25	162.62	11129.63	4741.82	4376.64	365.18	6550.43	6550.43
5				11368.10	163.72	11204.38	4712.62	4347.44	365.18	6655.48	6655.48
6				11430.45	164.61	11265.83	4688.91	4323.73	365.18	6741.54	6741.54
7				11483.43	165.38	11318.05	4668.96	4303.78	365.18	6814.47	6814.47
8				11529.52	166.04	11363.48	4651.75	4286.57	365.18	6877.77	6877.77
9				11570.34	166.63	11403.71	4636.63	4271.45	365.18	6933.70	6933.70
10				11606.96	167.16	11439.81	4623.15	4257.97	365.18	6983.81	6983.81
11				11640.20	167.64	11472.56	4611.00	4245.82	365.18	7029.21	7029.21
12				11670.62	168.07	11502.55	4599.93	4234.75	365.18	7070.70	7070.70
13				11698.68	168.48	11530.21	4589.77	4224.59	365.18	7108.91	7108.91
14				11724.72	168.85	11555.87	4580.39	4215.21	365.18	7144.33	7144.33
15				11749.01	169.20	11579.81	4571.67	4206.49	365.18	7177.34	7177.34

Στον πίνακα 6.35 δίνονται οι ΚΠΑ για την περίπτωση μίας Μ.Ε.Λ. για τα επιλεγμένα επιτόκια προεξόφλησης. Η πρώτη στήλη (NPV1) αγνοεί την καμπύλη εμπειρίας ενώ η δεύτερη (NPV2) τη λαμβάνει υπόψη

Πίνακας 6.35 Η Καθαρή Παρούσα Αξία μίας Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας

NPV 1	NPV 2	Αύξηση ΚΠΑ	Επιτόκιο Προεξόφλησης
15,115.36 €	24,564.36 €	62.5%	3.5%
14,634.25 €	23,999.95 €	64.0%	3.6%
14,158.15 €	23,441.48 €	65.6%	3.7%
13,687.00 €	22,888.89 €	67.2%	3.8%
13,220.73 €	22,342.09 €	69.0%	3.9%
12,759.30 €	21,801.02 €	70.9%	4.0%
12,302.62 €	21,265.61 €	72.9%	4.1%
11,850.66 €	20,735.78 €	75.0%	4.2%
11,403.33 €	20,211.46 €	77.2%	4.3%
10,960.60 €	19,692.58 €	79.7%	4.4%
10,522.40 €	19,179.08 €	82.3%	4.5%
10,088.67 €	18,670.89 €	85.1%	4.6%
9,659.37 €	18,167.94 €	88.1%	4.7%
9,234.42 €	17,670.16 €	91.4%	4.8%
8,813.79 €	17,177.50 €	94.9%	4.9%
8,397.42 €	16,689.88 €	98.8%	5.0%

Η καμπύλη εμπειρίας είναι εύκολα αντιληπτό ότι λειτουργεί ευεργετικά στην ΚΠΑ της επένδυσης, αφού μειώνει τα κόστη με ταυτόχρονη αύξηση των εσόδων της επένδυσης. Μάλιστα, στη δεύτερη περίπτωση η αύξηση που παρατηρείται είναι πάνω από 60 % και φτάνει μέχρι το 99 %. Αυτός είναι ένας σημαντικός δείκτης για το πως η συνεχιζόμενη βελτίωση της μονάδας συγκεκριμένα, αλλά και της τεχνολογίας Εξόρυξης Λυμάτων γενικότερα, μπορεί να αυξήσει τα εκτιμώμενα οικονομικά οφέλη της επένδυσης. Όσον αφορά τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης κεφαλαίου, τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 6.36 και όπως είναι λογικό καταδεικνύουν πως η απόδοση της μονάδας όταν θεωρείται πως αυξάνεται η σχετική εμπειρία, είναι μεγαλύτερη.

Πίνακας 6.36 Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης μίας Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας

Καμπύλη Εμπειρίας	EBA
όχι	7.26%
ναι	9.21%

Τέλος, γίνεται η υπόθεση πως η επένδυση περιλαμβάνει δύο Μ.Ε.Λ. και λαμβάνονται υπόψη τόσο οι Οικονομίες Κλίμακας όσο και η καμπύλη εμπειρίας. Για τις οικονομίες κλίμακας θεωρούμε συντελεστή $n = 0.9$ ($K_2 = 1,86K_1$), ενώ για τη καμπύλη εμπειρίας ο ρυθμός που ορίζεται είναι της τάξης του $b = 3\%$. Το λειτουργικό κόστος υπολογίζεται με βάση την εξίσωση 6.8 ως εξής:

$$AK_2 = AK_1 \cdot 1.86 \cdot N^{-0.03} \quad (6.9)$$

όπου LK_i είναι το λειτουργικό κόστος για i Μ.Ε.Λ.

N είναι τα έτη της μελέτης

Το έσοδο από την πώληση Ιλύος κα την εξοικονόμηση νερού δεν επηρεάζονται από τις οικονομίες κλίμακας και επομένως εφαρμόζεται κανονικά ο τύπος 6.8. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο πίνακας ταμειακών ροών για την περίπτωση δύο μονάδων Sewer Mining (Πίνακας 6.37).

Πίνακας 6.37 Πίνακας Ταμειακών Ροών δύο Μ.Ε.Λ. για καμπύλη εμπειρίας με $b = 3\%$ και οικονομία κλίμακας με $n = 0,9$

ΕΤΗ	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	2 Μ.Ε.Λ.	Αντλία	ΕΞΟΔΑ	Πώληση Ιλύος	Εξοί/μηση Νερού	ΕΞΟΔΑ	2 Μ.Ε.Λ.	Αντλία	ΜΙΚΤΑ ΚΕΡΔΗ/ΖΗΜΙΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
0	102165.00	98550.00	3615.00								-102165.00
1				21664.50	312.00	21352.50	8851.43	8486.25	365.18	12813.07	12813.07
2				22119.72	318.56	21801.16	8676.79	8311.61	365.18	13442.93	13442.93
3				22390.42	322.45	22067.97	8576.30	8211.12	365.18	13814.13	13814.13
4				22584.50	325.25	22259.25	8505.74	8140.56	365.18	14078.76	14078.76
5				22736.19	327.43	22408.76	8451.42	8086.24	365.18	14284.77	14284.77
6				22860.89	329.23	22531.66	8407.31	8042.13	365.18	14453.58	14453.58
7				22966.86	330.76	22636.10	8370.21	8005.03	365.18	14596.65	14596.65
8				23059.05	332.08	22726.96	8338.20	7973.02	365.18	14720.84	14720.84
9				23140.67	333.26	22807.41	8310.08	7944.90	365.18	14830.59	14830.59
10				23213.93	334.31	22879.62	8285.01	7919.83	365.18	14928.92	14928.92
11				23280.40	335.27	22945.13	8262.40	7897.22	365.18	15018.00	15018.00
12				23341.25	336.15	23005.10	8241.81	7876.63	365.18	15099.44	15099.44
13				23397.37	336.96	23060.41	8222.92	7857.74	365.18	15174.45	15174.45
14				23449.44	337.71	23111.74	8205.47	7840.29	365.18	15243.97	15243.97
15				23498.03	338.41	23159.62	8189.26	7824.08	365.18	15308.77	15308.77

Στον πίνακα 6.38, παρουσιάζονται οι ΚΠΑ για την περίπτωση που δεν θεωρούνται οικονομίες κλίμακας ή καμπύλη εμπειρίας (NPV1), αλλά και στην περίπτωση που αυτές λαμβάνονται υπόψη (NPV2).

Πίνακας 6.38 Η Καθαρή Παρούσα Αξία δύο Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας

NPV 1	NPV 2	Αύξηση ΚΠΑ	Επιτόκιο Προεξόφλησης
38,051.65 €	63,931.53 €	68.0%	3.5%
37,059.67 €	62,724.19 €	69.3%	3.6%
36,078.02 €	61,529.56 €	70.5%	3.7%
35,106.58 €	60,347.49 €	71.9%	3.8%
34,145.22 €	59,177.80 €	73.3%	3.9%
33,193.81 €	58,020.36 €	74.8%	4.0%
32,252.22 €	56,874.99 €	76.3%	4.1%
31,320.33 €	55,741.56 €	78.0%	4.2%
30,398.02 €	54,619.91 €	79.7%	4.3%
29,485.17 €	53,509.89 €	81.5%	4.4%
28,581.67 €	52,411.36 €	83.4%	4.5%
27,687.39 €	51,324.17 €	85.4%	4.6%
26,802.22 €	50,248.18 €	87.5%	4.7%
25,926.06 €	49,183.26 €	89.7%	4.8%
25,058.78 €	48,129.26 €	92.1%	4.9%
24,200.28 €	47,086.05 €	94.6%	5.0%

Η ΚΠΑ στη δεύτερη περίπτωση είναι αυξημένη όπως συνέβη και στα αποτελέσματα για την επένδυση με μία Μ.Ε.Λ., ενώ όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.39 και ο ΕΒΑ είναι αυξημένος αντίστοιχα. Όπως ήταν αναμενόμενο, τελικά, η επένδυση θεωρείται αποδοτικότερη όταν λαμβάνονται υπόψη η εμπειρία που προκύπτει από τη λειτουργία της μονάδας αλλά και τα οφέλη των οικονομικών κλίμακας.

Πίνακας 6.39 Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης επένδυσης με δύο Μ.Ε.Λ. χωρίς και με καμπύλη εμπειρίας

Οικ. Κλίμακας & Καμπ. Εμπειρίας	ΕΒΑ
όχι	9.11%
ναι	11.0%

Συμπερασματικά, η συνολική οικονομική ανάλυση που αναπτύχθηκε σε αυτό το κεφάλαιο, καθιστά σαφές πως η τεχνολογία Sewer Mining είναι πλήρως βιώσιμη. Όσον αφορά τη μονάδα ως ανεξάρτητη επένδυση, οι §6.2.1 – §6.2.3 αλλά και η §6.2.9, επιδιώκουν να υπολογίσουν την οικονομική αξία που θα αποφέρουν οι συγκεκριμένες προτάσεις σε έναν επενδυτή που θα αποφασίσει να τις υλοποιήσει. Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές πως η μονάδα εκτιμάται ότι θα δημιουργήσει οικονομικό όφελος στο χρονικό ορίζοντα της ζωής της. Μάλιστα, τα αποτελέσματα των πρώτων ενοτήτων είναι συντηρητικά αφού δεν λαμβάνουν υπόψη πιθανές τεχνολογικές βελτιώσεις των μονάδων και θεωρούνται οικονομίες σταθερής απόδοσης. Όσον αφορά, τη προτεινόμενη επέμβαση στο Φυτόριο, είναι εμφανές πως λόγω του κόστους του νερού που καταναλώνει το Φυτόριο από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ, η συνολική

πρόταση για την κάλυψη των υδάτινων αναγκών δεν δημιουργεί κέρδος για το Φυτόριο. Εντούτοις, αποδείχθηκε πως με την εγκατάσταση της μονάδας Sewer Mining τα ετήσια έξοδα αλλά και η ΚΠΑ της συνολικής επένδυσης (νερό από Sewer Mining και νερό από δίκτυο) μειώνονται σημαντικά. Επίσης, μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων 1,2,3 και 4 κατέστη φανερό πως ακόμα και αν θεωρηθεί ότι η υφιστάμενη τεχνολογία Sewer Mining δε βελτιωθεί την επόμενη δεκαπενταετία, η επένδυση σε αυτήν για την πλήρη ικανοποίηση των αναγκών του Φυτωρίου σε νερό είναι περισσότερο οικονομικά συμφέρουσα από την πλήρη εξάρτηση του Φυτωρίου από το νερό του δικτύου ύδρευσης.

7. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας θα συνοψιστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν τόσο από την προσομοίωση της επέμβασης στο Φυτώριο μέσω του UWOT, όσο και από την οικονομική ανάλυση που ακολούθησε. Επιπρόσθετα, θα γίνει σχολιασμός γύρω από την τεχνολογία Sewer Mining αλλά και τα επόμενα βήματα που πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να αρχίσει να χρησιμοποιείται σε ευρύτερη κλίμακα.

Σε ότι αφορά γενικά τις δυνατότητες του προγράμματος UWOT τα συμπεράσματα είναι:

- Το UWOT αποτελεί ένα μοντέλο ικανό να προσομοιώσει τη ροή νερού σε αστικό περιβάλλον τόσο σε τοπική κλίμακα (όπως είναι η εγκατάσταση του Φυτωρίου) όσο και σε κλίμακα πόλης (§3.1.1).
- Η προσομοίωση ενός συστήματος είναι ιδιαίτερα απλή διαδικασία, καθώς το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα περιγραφής όλων των διαφορετικών στοιχείων του αστικού κύκλου του νερού (§3.1.2).
- Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης, το UWOT δεν απαιτεί πληθώρα δεδομένων και ρυθμίσεων, όπως άλλα προγράμματα της αγοράς, αλλά βασίζεται στον καθορισμό των σημάτων ζήτησης των στοιχείων που απαρτίζουν το προσομοιωμένο σύστημα (§3.1.1)..
- Η προσομοίωση τόσο χρονικά όσο και υπολογιστικά δεν είναι απαιτητική, γεγονός που καθιστά το πρόγραμμα εύχρηστο και προσβάσιμο σε χρήστες με διαφορετικές δυνατότητες. Η ταχύτητα προφανώς εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του μοντέλου, και το επιλεγμένο χρονικό βήμα της προσομοίωσης.
- Πέρα από τον ποσοτικό υπολογισμό των ροών του νερού στον αστικό κύκλο, το UWOT δίνει τη δυνατότητα της ποιοτικής εκτίμησης του νερού μέσω της συγκέντρωσης του BOD και τη χρήση στοιχείων όπως το Φίλτρο Ποιότητας (FL) (§3.1.2).

Σε ότι αφορά την προσομοίωση της προτεινόμενης επέμβασης μέσω του UWOT:

- Τα αποτελέσματα που αφορούν την ζήτηση νερού από το δίκτυο ύδρευσης παρουσιάζουν μικρή απόκλιση σε σύγκριση με τα δεδομένα κατανάλωσης νερού που δόθηκαν από την ΕΥΔΑΠ κυρίως όσον αφορά τις μέσες τιμές και όχι τις ακραίες (§5.5). Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον πίνακα 5.11, η προσομοίωση εκτιμά πως το ποσοστό συμμετοχής της μονάδας Sewer Mining στην κάλυψη των αναγκών του φυτωρίου κυμαίνεται από 6 – 9,41 % και επομένως είναι αρκετά κοντά στο 10 % που είχε εκτιμήσει αρχικά το Φυτώριο. Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις οφείλονται, εν μέρη στα ελλιπή υπάρχοντα δεδομένα, αφού η ημερήσια παροχή της ΕΥΔΑΠ που ήταν γνωστή, αφορούσε τις περιόδους αιχμής και δεν λάμβανε υπόψη την εποχική διακύμανση της ζήτησης. Επίσης, τα δεδομένα της ΕΥΔΑΠ αφορούσαν τη συνολική κατανάλωση της εγκατάστασης σε νερό και όχι αποκλειστικά τη κατανάλωση για άρδευση του Φυτωρίου, γεγονός που δικαιολογεί την απόκλιση μεταξύ προσομοιωμένης ετήσιας ζήτησης και πραγματικής ετήσιας κατανάλωσης.
- Η εκτιμώμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού που υπολογίζεται σε όρους BOD (mg/L), παρουσιάζει ικανοποιητική ακρίβεια σε σχέση με τα δεδομένα που υπάρχουν για την αντίστοιχα μονάδα Sewer Mining που λειτουργεί στο Κέντρο Ερευνητικών Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας της ΕΥΔΑΠ και χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης. Συγκεκριμένα, το UWOT υπολογίζει πως η μέση τιμή συγκέντρωσης του BOD είναι 2,63

mg/L, ενώ από μετρήσεις της υπάρχουσας μονάδας η συγκέντρωση του BOD στην εκροή παρουσιάζει μέση τιμή 0,9 mg/L (§5.5). Η διαφορά οφείλεται στο γεγονός πως το πρόγραμμα λαμβάνει ως δεδομένο πως ο βαθμός απόδοσης της μονάδας Sewer Mining είναι σταθερός στο χρόνο και ίσος με 99 %, ενώ προφανώς η πραγματική απόδοση της μονάδας του ΚΕΡΕΦΥΤ είναι μεταβαλλόμενη στο χρόνο και σε κάποιες περιόδους προφανώς μεγαλύτερη του 99 %. Σε κάθε περίπτωση, πάντως η υπολειπόμενη συγκέντρωση BOD στην έξοδο της μονάδας είναι μικρότερη του 10 mg/L, που είναι το όριο της Ελληνικής Νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστική χρήση (§5.4.1).

Σε ότι αφορά την οικονομική ανάλυση της επένδυσης σε τεχνολογία Εξόρυξης Λυμάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η επένδυση στην τεχνολογία της Εξόρυξης Λυμάτων σε βάθος 15ετίας προκύπτει ότι είναι βιώσιμη (συμφέρουσα), τόσο σύμφωνα με το Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Πίνακας 6.8), όσο και με βάση το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης του κεφαλαίου της επένδυσης. Μάλιστα, προκύπτει ότι η αύξηση των μονάδων σε δύο και επτά αντίστοιχα, οδηγεί σε αύξηση της ΚΠΑ και του ΕΒΑ της επένδυσης (§6.2.1 - §6.2.3). Για τον υπολογισμό των ΚΠΑ θεωρήθηκαν 15 διαφορετικά επιτόκια προεξόφλησης με τιμές από 3,5 % - 5%.
- Τα οικονομικά σενάρια 1,2,3 και 4 (§6.2.4 - §6.2.7) που αφορούν συγκεκριμένα την επέμβαση στο Φυτώριο, πραγματοποιήθηκαν θεωρώντας σταθερές οικονομίας κλίμακας και τα αποτελέσματα είναι θετικά όσον αφορά τις προοπτικές και τα οφέλη από την εγκατάσταση της μονάδας. Για τον προσδιορισμό της πλέον συμφέρουσας λύσης χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας το οποίο δύναται να εφαρμοσθεί όταν οι ταμειακές ροές του Πίνακα παρουσιάζουν αρνητικά πρόσημα. Αντίθετα, το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης δεν χρησιμοποιήθηκε, καθώς παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι ο προσδιορισμός του σε περιπτώσεις αρνητικών ταμειακών ροών είναι επίπονος και απαιτεί διαδοχικές προσεγγίσεις και τροποποίηση των ταμειακών ροών. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης της ΚΠΑ των σεναρίων ορίζουν πως η σειρά προτίμησης των σεναρίων είναι : 1) Σενάριο 3 (λειτουργία 7 Μ.Ε.Λ. και πλήρης κάλυψη των υδάτινων αναγκών με παραγόμενο από τη μονάδα νερό), 2) Σενάριο 2 (λειτουργία 2 Μ.Ε.Λ. και συνδυασμός της τεχνολογίας και του νερού από το δίκτυο ύδρευσης για την κάλυψη των αναγκών), 3) Σενάριο 1 (λειτουργία 1 Μ.Ε.Λ. και συνδυασμός της τεχνολογίας και του νερού από το δίκτυο ύδρευσης για την κάλυψη των αναγκών) και 4) Σενάριο 4 (πλήρης κάλυψη των αναγκών με νερό από το δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ) (Σχήμα 6.2, §6.2.8).
- Η ευαισθησία στη μεταβολή του οικονομικού περιβάλλοντος κατά το χρονικό ορίζοντα της επένδυσης την καθιστά λιγότερο ελκυστική στους επενδυτές και διαφέρει από σενάριο σε σενάριο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.29 (ανάλυση ευαισθησίας της ΚΠΑ στη μεταβολή του επιτοκίου προεξόφλησης), το σενάριο 4 (υφιστάμενη κατάσταση) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία ενώ ακολουθούν το σενάριο 2,1 και τέλος το σενάριο 3 (Σχήμα 6.3).
- Σχετικά με την κατανομή του κόστους της επένδυσης σε αρχικό και λειτουργικό κόστος, προκύπτει πως όσο η θετική ΚΠΑ αυξάνεται (ή αντίστοιχα η αρνητική ΚΠΑ μειώνεται), το ποσοστό συνεισφοράς των δύο στο συνολικό κόστος είναι πιο ισορροπημένο (Πίνακας 6.31). Η εξήγηση έγκειται στο γεγονός πως το αρχικό πόσο της επένδυσης δεν υπόκειται

στη διαχρονική απαξίωση του χρήματος όπως τα λειτουργικά κόστη επομένως μεγαλύτερο μέρος του συνολικού ποσού διατηρεί την αξία του.

- Η συγκριτική αξιολόγηση της επένδυσης πραγματοποιήθηκε θεωρώντας σταθερές οικονομίες κλίμακας και συντηρητικές παραδοχές όσον αφορά, κυρίως, τα έσοδα από τη λειτουργία της μονάδας, αφού σε αυτά δεν συμπεριελήφθησαν τα πιθανά οικονομικά οφέλη από την ανάκτηση θερμικής ενέργειας και της αξιοποίησης της εντός της εγκατάστασης. Είναι επομένως λογικό πως τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τα οφέλη της επένδυσης είναι στο κάτω όριο του εύρους των πιθανών πραγματικών κερδών (§6.2.8).
- Η θεώρηση οικονομικών κλίμακας λειτουργεί ευεργετικά στα οικονομικά αποτελέσματα της επένδυσης, για την περίπτωση που προβλέπεται η εγκατάσταση πολλαπλών μονάδων Εξόρυξης Λυμάτων. Η ανάλυση έγινε για την περίπτωση δύο Μ.Ε.Λ. και για διαφορετικούς συντελεστές μείωσης του λειτουργικού κόστους η (Πίνακας 6.32 και Σχήμα 6.5). Προέκυψε, λοιπόν, πως όσο μικρότερο είναι το συνδυασμένο λειτουργικό κόστος των μονάδων, τόσο μεγαλύτερη είναι η υπολογιζόμενη ΚΠΑ (για όλα τα επιτόκια προεξόφλησης που δοκιμάστηκαν). Μέσω της συγκεκριμένης ανάλυσης δίνεται ένα εκτιμώμενο εύρος σχετικά με το πως η βελτίωση της απόδοσης της επένδυσης μέσω του περιορισμού του λειτουργικού κόστους, δύναται να επηρεάσει τη συνολική οικονομική αξία της επένδυσης για όλη τη διάρκεια ζωής των μονάδων.
- Η αυξανόμενη εμπειρία του ανθρώπινου δυναμικού όσον αφορά τη λειτουργία της επένδυσης, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αύξηση της οικονομικής αξίας της έργου, μέσω της αύξησης της παραγωγής της μονάδας αλλά και της ταυτόχρονης μείωσης του λειτουργικού κόστους. Η ανάλυση έγινε τόσο για την περίπτωση που η επένδυση αναφέρεται σε μία Μ.Ε.Λ. (Πίνακας 6.35), όσο και για την περίπτωση που η επένδυση αναφέρεται σε δύο μονάδες (Πίνακας 6.38).

Από την ενασχόληση και μελέτη της προτεινόμενης επέμβασης στο Φυτόριο του Δήμου Αθηναίων, προτείνονται τα παρακάτω:

- Με δεδομένο πως η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αφορούσε μόνο το οικονομικό κόστος μίας επένδυσης που βασίζεται στη τεχνολογία του Sewer Mining, η πραγματοποίηση μιας πλήρους Κοινωνικό-Οικονομικής Ανάλυσης στα πλαίσια της Οδηγίας Πλαίσιο 2000/60 θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη προκειμένου να διερευνηθεί και το περιβαλλοντικό και κοινωνικό όφελος που προσφέρουν οι επενδύσεις που βασίζονται στη Κυκλική Οικονομία.
- Η διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης όταν αυτή συγκρίνεται με άλλες συμβατικές μεθόδους απόκτησης νερού. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει για παράδειγμα η συγκριτική αξιολόγηση ανάμεσα στην παραγωγή νερού μέσω Sewer Mining και στην άντληση νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα για την κάλυψη των αναγκών αγροτικών εκτάσεων, που αποτελεί μία συνήθης πρακτική στην Ελλάδα.
- Η χρήση του UWOT σε συνδυασμό με άλλα προγράμματα για την πλήρη περιγραφή των ροών της μονάδας, η οποία προβλέπει εκτός από την παραγωγή νερού, την ανάκτηση υλικών (μέσω της παραγωγής κομπόστ) αλλά και της ανάκτησης ενέργειας μέσω της αξιοποίησης της θερμότητας των λυμάτων.

- Μία διευρυμένη μελέτη σχετικά με τη βιωσιμότητα μίας επένδυσης που αφορά την τοποθέτηση πολλαπλών μονάδων Sewer Mining σε δημόσιους χώρους και κατ' επέκταση παραγωγής επί τόπου νερού για την άρδευση περιοχών πρασίνου ή πάρκων. Ποιες θα είναι τότε οι θετικές οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις σε αστική πλέον κλίμακα;
- Έρευνα (για παράδειγμα μέσω ερωτηματολογίου) σχετικά με την προθυμία πιθανών ενδιαφερόμενων να επενδύσουν σε τεχνολογίες Κυκλικής Οικονομίας και πιο συγκεκριμένα στο Sewer Mining και χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων για τη βελτίωση των μονάδων και των δυνατοτήτων τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

A1. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δήμος Αθηναίων & Ε.Μ.Π. (2017). *Διερεύνηση του βέλτιστου συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης βιοαποβλήτων στο Δήμο Αθηναίων με σκοπό την αξιοποίησή τους*. (3η εκδ.). Αθήνα.
- Ευρωπαϊκή Ένωση. (2003). *Οδηγός Ανάλυσης Κόστους - Ωφέλειας των Επενδυτικών Σχεδίων (Διαρθρωτικά Ταμεία - ΕΤΠΑ, Ταμείο Συνοχής και ΜΠΔΠ (ISPA))*. Διαθέσιμο στο https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_el.pdf [Πρόσβαση 23 Σεπτεμβρίου 2019]
- Καλιαμπάκος, Δ. & Δαμίγος, Δ. (2008). *Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων*. Αθήνα: Πανεπιστημικές Σημειώσεις Ε.Μ.Π.
- Κοντογεώργος, Α. & Σεργάκη, Π. (2015). Οικονομική Θεωρία των Συνεταιρισμών. *Αρχές Διοίκησης Αγροτικών Συνεταιρισμών: Προκλήσεις και Προοπτικές* (σσ. 60-66). Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- ΚΥΑ 145116/2011. *Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις*. Εφημερίδα της Κυβέρνησης. Διαθέσιμο στο <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=WhFRuaqKXs%3D&tabid=251&language=el-GR> [Πρόσβαση 5 Οκτωβρίου 2019]
- Μιμίκου, Μ. & Μπαλάς, Ε. (2012). *Τεχνική Υδρολογία*. (5^η εκδ.). Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Παναγιωτακόπουλος, Δ. (2008). *Συστημική Μεθοδολογία και Τεχνική Οικονομική*. (2η εκδ.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζηγός.
- Παναγούλια, Δ. & Δήμου, Γ. (2000). *Εισαγωγή στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα*. (3η εκδ.). Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

A2. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Avgar, I. (2018). *Israeli Water Sector*. Jerusalem: The Knesset Research and Information Center.
- AFESD (Arab Fund For Economic And Social Development). (2007). *Sludge management project in Greater Cairo. Summary of technical report on composting facility in Al Berka site*. Cairo, Egypt
- Boulding, K. (1966). The economics of the Coming Spaceship Earth. In H. Jarett (Eds.), *Environmental quality in a growing economy, resources for the future*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper no. 24*. Rome: FAO.
- Drafting Group ECO 2. (2004). *Assesment of Environmental and Resource Costs in the Water Framework Directive, Working Group 2B, Common Implementation Strategy*. Διαθέσιμο στο <http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/docs/OtherCIS Documents/Economics/ECOResourceCosts.pdf> [Πρόσβαση 10 Οκτωβρίου 2019]

- EC (European Commission). (2000). *Success stories on composting and separate collections*. Directorate-General for the Environment. Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy vol 1: Economic business rationale for an accelerated transition*. Διαθέσιμο στο <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> [Πρόσβαση 17 Μαΐου 2019]
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a Circular Economy - Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Διαθέσιμο στο https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_9-Dec-2015.pdf [Πρόσβαση 3 Ιουνίου 2019]
- EUWA (EU Water Alliance). (2014). *Main Priorities for Water under the Juncker Commission (2014-2019)*. Διαθέσιμο στο <http://watereurope.eu/wp-content/uploads/sites/102/2015/04/Main-Priorities-for-Water-under-the-Junckers-Commission.pdf> [Πρόσβαση 29 Μαΐου 2019]
- Forslund, A., Malm Renofalt, B., Barchiesi, S., Cross, K., Davidson, S., Farrell, T., Korsgaard, L., Krchanak, K., McClain, M., Meijer, K. & Smith, M. (2009). *Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows*. Swedish Water House Report 24.SIWI
- Hsu, A., Etsy, D., Levy, M. & de Sherbinin, A. (2016). *2016 Environmental Performance Index*. New Haven, CT: Yale University. Διαθέσιμο στο <http://www.epi.yale.edu>
- International Resources Panel. (2019). *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel*. United Nations Environment Program. Nairobi, Kenya. Διαθεσιμό στο <http://www.resourcepanel.org/report/global-resources-outlook> [Πρόσβαση 4 Ιουνίου 2019]
- IPP Consult. (2002). *Sewage sludge conversion in Egypt, rsume of final report*. Διαθέσιμο στο www.gtz.de/ecosan/download/ipp-Agypten.pdf. [Πρόσβαση 28 Ιουλίου 2019]
- Lancaster, M. (2002). Principles of sustainable and green chemistry. In J. Clark, & D. Macquarrie (Eds.), *Handbook of green chemistry and technology* (pp. 10-27). Oxford: Blackwell.
- Makropoulos, C. (2014). Thinking platforms for smarter urban water systems: fusing technical and socio-economic models and tools. In A. Riddick, H. Kessler, & J. Giles (Eds), *Integrated Environmental Modelling to Solve Real World Problems* (408th Ed.). London: Geological Society, doi:10.1144/SP408.4
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remake the Way We Make Things* (1st Ed.). New York: North Point Press.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment & Reuse* (4th Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Orange County Water District. (2018). *Groundwater Replenishment System 2018 Annual Report*. Irvine: Orange County Water District. Διαθεσιμό στο <https://www.ocwd.com/media/7933/2018-gwrs-annual-report.pdf> [Πρόσβαση 14 Σεπτεμβρίου 2019]

- PUB. (2018). *Our Water, Our Future*. Singapore: Public Utility Board. Διαθέσιμο στο <https://www.pub.gov.sg/Documents/PUBOurWaterOurFuture.pdf> [Πρόσβαση 1 Αυγούστου 2019]
- Rejwan, A. (2011). *The State of Israel: National Water Efficiency Report*. Isreali Water Authority. Διαθέσιμο στο <http://www.water.gov.il/Hebrew/ProfessionalInfoAndData/2012/24-The-State-of-Israel-National-Water-Efficiency-Report.pdf> [Πρόσβαση 5 Αυγούστου 2019]
- Schultze, M., Butler, D., & Beck, B. (2011). *Modelling, Simulation and Control of Urban Wastewater Systems*. New York, NY, USA: Springer Science & Business Media.
- Simmonds, P. (1862). *Waste Products and Undeveloped Substances: or, Hints for Enterprise in Neglected Fields*. London: R. Hardwicke.
- Singapore Department of Statistics. (2018). *Population Trends 2018*. Singapore: Department of Statistics, Ministry of Trade & Industry. Διαθέσιμο στο <https://www.singstat.gov.sg> [Πρόσβαση 27 Αυγούστου 2019]
- Stahel, W., & Reday-Mulvey, G. (1981). *Jobs for Tomorrow, the potential for substituting manpower energy*. New York: Vantage Press.
- Sydney Water. (2013). *Sewer Mining: How to set up a sewer mining scheme*. Sydney, Australia: Sydney Water.
- Tajir, S., Steichen, T., & Shuoler, M. (2018). *Water and Circular Economy: A White Paper*. CE100. Διαθέσιμο στο https://nextgenwater.eu/wp-content/uploads/2018/10/Water_and_circular_economy-Co.Project_White_paper.pdf [Πρόσβαση 7 Ιουλίου 2019]
- UN. (2019). *The United Nations World Development report 2019: Leaving No One Behind*. Παρίσι: UNESCO. Διαθέσιμο στο <http://www.unesdoc.unesco.org> [Πρόσβαση 15 Σεπτεμβρίου 2019]
- WATECO. (2002). *Economics and the Environment. The Implementation Challenge of the Water Framework Directive. A Guidance Document, WATECO Working Group Report Common Implementation Strategy*. Luxemburg: Official Publications of the European Communities. Διαθέσιμο στο <https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/economics/pdf/Guidance%201%20-%20Economics%20-%20WATECO.pdf> [Πρόσβαση 10 Σεπτεμβρίου 2019]
- WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th Ed.). Geneva: World Health Organization.
- World Economic Forum. (2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. Διαθέσιμο στο http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf [Πρόσβαση 25 Ιουλίου 2019]
- World Economic Forum. (2015). *Global risks 2015*. Διαθέσιμο στο http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf [Πρόσβαση 14 Αυγούστου 2019]
- Β1. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΑΡΘΡΟΦΡΑΦΙΑ**
- Angelakis, A. & Gikas, P. (2014). Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. *Water Utility Journal*, **8**: 67-78.

- Bach, P., Rauch, W., Mikkelsen, P., McCarthy, D. & Deletic, A. (2014). A Critical Review of Integrated Urban Water Modelling: Urban Drainage and Beyond. *Environmental Modelling & Software*, **54**: 88-107.
- Castro, A., Martin-Lopez, B., Garcia-Llorente, M., Aguilera, P., Lopez, E., & Cabello, J. (2011). Social preferences regarding the delivery of ecosystem services in a semiarid Mediterranean region. *Journal Arid Environments*, **75**(11): 1201-1208.
- Duan, Q., Sorooshian, S., & Gupta, V. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, **28**(4): 1015-1031.
- Giap, L. (2005). NEWater-closin the water loop. *The International Desalination and Water reuse quarterly*, **15**(3): 34-36.
- Greyson, J. (2007). An economic instrument for zero waste, economic growth and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, **15**:1382-1390.
- Herndon, R., & Markus, M. (2014). Large-Scale Aquifer Replenishment and Seawater Intrusion Contor Using Recycled Water in Southern California. *Boletin Geologico y Minero*, **125**(2): 143-155.
- Koutiva, I., & Makropoulos, C. (2016). Modelling domestic water demand: an agent based approach. *Environmental Modelling & Software*, **79**: 35-54.
- Kozanis, S., Christofides, A., Efstratiadis, A., Koukouvinos, A., Karavokiros, G., Mamasis, N., Koutsoyannis, D. & Nikolopoulos, D. (2012). Using open source software for the supervision and management of the water resources system of Athens. *European Geosciences Union General Assembly. Vol. 14*. Vienna, 7158.
- Law, I. (2003). Advanced reuse-From Windhoek to NEWater and beyond. *The Internation Desalination Water reuse quarterly*, **13**(1): 22-29.
- Lee, H., & Tan, T. (2016). Singapore's experience with reclaimed water:NEWater. *International Jouranal of Water Resources*, **32**: 611-621.
- Lund, J.R. (2016). California's Agriculturral and Urban Water Supply Reliability and the Sacramento-San Joaquin Delta. *San Fransisco Estuary and Watershed Science*, **14**(3). doi:10.15447/sfew.2016v14iss2art6
- Makropoulos, C., Rozos, E., Tsoukalas, I., Plevri, A., Karakatsanis, G., Karagiannidis, L., Makri, E., Lioumis, C., Noutsopoulos, C., Mamais, D., Rippis, C. & Lytras, E. (2017). Sewer Mining: a water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship. *Journal of Environmental Management*, **216**: 285-298. doi:10.1016/j.jenvman.2017.07.026
- Marleni, N., Gray, S., Sharma, A., Burn, S., & Muttill, N. (2013). Modeling the Effects of Sewer Mining on Odour and Corrosion in Sewer Systems. *Proceedings of the 20th International Congress on Modelling and Simulation, 1-6 December 2013, Adelaide, Australia*. Διαθέσιμο στο <https://www.researchgate.net/publication/261876959> [Πρόσβαση 3 Αυγούστου 2019]
- Mitchell, V., Duncan, H., Inma, R., Stewart, J., Vieritz, A., Holt, P., Grant, A., Fletcher, T.D., Coleman, J., Maheepala, S. Sharma, A., Deletic, A & Breen, P. (2007). State of the Art Review of Integrated Urban Water Models. *Novatech, Lyon, France*, pp. 507 – 514. Διαθέσιμο στο <http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/25394/?sequence=1> [Πρόσβαση 17 Σεπτεμβρίου 2019]

- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2015). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, **140**(3): 369-380. doi:https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2
- Osmerod, K., & Silvia, L. (2017). Newspaper Coverage of Potable Water Recycling at Orange County Water District's Groundwater Replenishment System, 2000-2016. *Water*, **9**(12): 984-995. doi:10.3390/w9120984
- Paton, F., Dandy, G., & Maier, H. (2014). Integrated Framework for assessing urban water supply security of systems with non-traditional sources under climate change. *Environmental Modelling & Software*, **60**: 302-319.
- Pena-Guzman, C., Melgareji, J., Prats, D., Torres, A., & Martinez, S. (2017). Urban Water Cycle Simulation/Management Models: A Review. *Water*, **9**(4) σσ. 285-313. doi:10.3390/w9040285
- Plevri, A., Mamais, D., Noutsopoulos, C., Makropoulos, C., Andreadakis, A., Rippis, K., Smeti, E. & Lioumis, C. (2017). Promoting on-site urban wastewater reuse through MBR-RO treatment. *Desalination and Water Treatment*, **91**: 2-11. doi:10.5004
- Robert, K. -H. (1991). The physician and the environment. *Reviews in Oncology. European Organisation for Research and Treatment of Cancer*, **4**(2): 1-3.
- Rozos, E. & Makropoulos, C. (2013). Source to tap urban water cycle modelling. *Environmental Modelling & Software*, **41**: 139-150.
- Rozos, E. & Makropoulos, C. (2012). Assessing the combined benefits of water technologies by modelling the total urban cycle. *Urban Water Journal*, **9**: 1-10.
- Rozos, E., & Makropoulos, C. (2010). Assessing the combined benefits of water recycling technologies by modelling the complete urban water cycle. *International Precipitation Conference (IPC10), 23-25 June 2010, Coimbra, Portugal*.
- Rozos, E., Tsoukalas, I., Rippis, K., Smeti, E., & Makropoulos, C. (2017). Turning black into green: Ecosystem services from treated wastewater. *Desalination and Water Treatment*, **91**: 198-205. doi:10.5004/dwt.2017.20926
- Schandl, H., & West, J. (2010). Resource use and resource efficiency in the Asia-Pacific region. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, **20**(4): 636-647.
- Singh, S. (2005). Singapore offers recipes for urban water management. *Asian Water*, **12**: 23-27.
- Sitzenfrei, R., & Rauch, W. (2016). From water networks to a "Digital City": A shift of paradigm in assessment of urban water systems. *In Proceedings of the 12th International Conference on Urban Drainage, 11-16 September 2011, Porto Alegre, Brazil*, pp.11-16
- Tsoukalas, I., Makropoulos, C., & Michas, S. (2017). Identification of potential sewer mining locations: a Monte-Carlo based approach. *Water Science & Technology*, **76**(12): 3351-3357. doi:10.2166/wst2017.487
- Voulvoulis, N. (2018). Water Reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, **2**: 32-45. doi:10.1016

Xie, M., Nghiem, L., Price, W., & Elimelech, M. (2013). A forward osmosis-membrane distillation hybrid process for direct sewer mining: system performance and limitations. *Environmental Science & Technology*, **47**(23): 13486-13493. doi:10.1021/es101056e

Γ. ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Circular Economy - Sustainability Guide. (2019). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://sustainabilityguide.eu/sustainability/circular-economy/> [Πρόσβαση 18 Ιουλίου 2019]

Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment.. [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=EN> [Πρόσβαση 14 Ιουλίου 2019]

Economies of Scale | Intelligent Economist. (2019). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://www.intelligenteconomist.com/economies-of-scale/> [Πρόσβαση 28 Σεπτεμβρίου 2019]

Hydrological Observatory of Athens - Station - Zografou (NTUA). (2019). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <http://hoa.ntua.gr/stations/d/13/> [Πρόσβαση 20 Μαΐου 2019]

Ranking the World's most Water Stressed Countries by 2040 | World Resources Institute. (2015). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040> [Πρόσβαση 3 Σεπτεμβρίου 2019]

STEM: Tree Lifecycle - Project Learning Tree. (2019). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://www.plt.org/stem-strategies/tree-lifecycle/> [Πρόσβαση 7 Σεπτεμβρίου 2019]

Stuchtey, M. (2015). *Rethinking the water cycle*, McKinsey. [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/rethinking-the-water-cycle#> [Πρόσβαση 2 Αυγούστου 2019]

United States Census Bureau. *U.S. Census Bureau QuickFacts: California*. [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://www.census.gov/quickfacts/CA/population.html> [Πρόσβαση 25 Ιουλίου 2019]

Water & Circular Economy - NextGen Water. (2019). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://nextgenwater.eu/water-circular-economy> [Πρόσβαση 27 Αυγούστου 2019]

WPL Homepage - WPL Environmental Wastewater Solution. (2019). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <https://www.wplinternational.com/> [Πρόσβαση 6 Σεπτεμβρίου 2019]

Zygos - ITIA. (2008). [Ηλεκτρονικό]. Διαθέσιμο στο <http://www.itia.ntua.gr/en/softinfo/22/> [Πρόσβαση 23 Αυγούστου 2019]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Αναλυτικά αποτελέσματα του UWOT για τη μονάδα Sewer Mining

ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ	Παραγόμενο Νερό		Υπολειπόμενα Λύματα	
	Ποσότητα Νερού (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)	Ποσότητα Λυμάτων (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO Λυμάτων (mg/L)
1/1/2006 0:00	750099	2.91	3599901	350.63
1/2/2006 0:00	750099	3.32	3599901	400.29
1/3/2006 0:00	750099	2.19	3599901	263.85
1/4/2006 0:00	750099	4.12	3599901	496.66
1/5/2006 0:00	750099	2.48	3599901	298.83
1/6/2006 0:00	750099	1.89	3599901	228.57
1/7/2006 0:00	750099	1.99	3599901	240.11
1/8/2006 0:00	750099	2.10	3599901	252.73
1/9/2006 0:00	750099	1.91	3599901	230.08
1/10/2006 0:00	750099	3.53	3599901	425.98
1/11/2006 0:00	750099	2.36	3599901	285.07
1/12/2006 0:00	750099	3.34	3599901	403.31
1/1/2007 0:00	750099	2.44	3599901	294.11
1/2/2007 0:00	750099	3.77	3599901	455.32
1/3/2007 0:00	750099	2.51	3599901	302.29
1/4/2007 0:00	750099	2.37	3599901	285.78
1/5/2007 0:00	750099	3.05	3599901	367.51
1/6/2007 0:00	750099	2.68	3599901	323.78
1/7/2007 0:00	750099	1.96	3599901	236.60
1/8/2007 0:00	750099	2.04	3599901	245.94
1/9/2007 0:00	750099	2.87	3599901	346.36
1/10/2007 0:00	750099	3.03	3599901	365.15
1/11/2007 0:00	750099	2.84	3599901	341.98
1/12/2007 0:00	750099	2.07	3599901	249.65
1/1/2008 0:00	750099	3.53	3599901	425.31
1/2/2008 0:00	750099	4.18	3599901	504.80
1/3/2008 0:00	750099	2.36	3599901	284.11
1/4/2008 0:00	750099	2.31	3599901	278.82
1/5/2008 0:00	750099	2.51	3599901	302.39
1/6/2008 0:00	750099	2.83	3599901	341.32
1/7/2008 0:00	750099	1.53	3599901	184.42
1/8/2008 0:00	750099	2.92	3599901	351.77
1/9/2008 0:00	750099	0.91	3599901	110.33
1/10/2008 0:00	750099	2.67	3599901	321.78
1/11/2008 0:00	750099	3.28	3599901	396.10
1/12/2008 0:00	750099	2.35	3599901	283.18
1/1/2009 0:00	750099	3.48	3599901	420.01
1/2/2009 0:00	750099	2.48	3599901	298.70

1/3/2009 0:00	750099	0.94	3599901	113.17
1/4/2009 0:00	750099	3.06	3599901	369.11
1/5/2009 0:00	750099	2.35	3599901	283.69
1/6/2009 0:00	750099	3.97	3599901	478.58
1/7/2009 0:00	750099	2.65	3599901	320.20
1/8/2009 0:00	750099	3.04	3599901	366.12
1/9/2009 0:00	750099	1.97	3599901	237.43
1/10/2009 0:00	750099	3.59	3599901	432.47
1/11/2009 0:00	750099	1.85	3599901	223.53
1/12/2009 0:00	750099	2.66	3599901	321.39
1/1/2010 0:00	750099	2.44	3599901	294.92
1/2/2010 0:00	750099	2.33	3599901	281.50
1/3/2010 0:00	750099	2.29	3599901	276.64
1/4/2010 0:00	750099	2.65	3599901	320.17
1/5/2010 0:00	750099	1.10	3599901	132.59
1/6/2010 0:00	750099	3.21	3599901	387.45
1/7/2010 0:00	750099	2.46	3599901	296.43
1/8/2010 0:00	750099	1.43	3599901	172.73
1/9/2010 0:00	750099	1.69	3599901	203.66
1/10/2010 0:00	750099	2.25	3599901	271.97
1/11/2010 0:00	750099	2.14	3599901	258.61
1/12/2010 0:00	750099	2.45	3599901	295.02
1/1/2011 0:00	750099	1.31	3599901	158.28
1/2/2011 0:00	750099	2.07	3599901	249.82
1/3/2011 0:00	750099	3.21	3599901	387.43
1/4/2011 0:00	750099	2.39	3599901	287.83
1/5/2011 0:00	750099	2.98	3599901	359.12
1/6/2011 0:00	750099	2.80	3599901	337.45
1/7/2011 0:00	750099	2.54	3599901	306.54
1/8/2011 0:00	750099	3.73	3599901	449.95
1/9/2011 0:00	750099	3.68	3599901	444.48
1/10/2011 0:00	750099	1.88	3599901	226.33
1/11/2011 0:00	750099	1.68	3599901	202.54
1/12/2011 0:00	750099	1.80	3599901	217.73
1/1/2012 0:00	750099	1.91	3599901	230.34
1/2/2012 0:00	750099	1.85	3599901	222.90
1/3/2012 0:00	750099	2.98	3599901	360.06
1/4/2012 0:00	750099	2.30	3599901	277.71
1/5/2012 0:00	750099	3.52	3599901	424.24
1/6/2012 0:00	750099	2.02	3599901	243.58
1/7/2012 0:00	750099	1.41	3599901	169.65
1/8/2012 0:00	750099	4.05	3599901	488.72
1/9/2012 0:00	750099	1.71	3599901	206.47
1/10/2012 0:00	750099	3.44	3599901	415.46
1/11/2012 0:00	750099	1.86	3599901	224.80
1/12/2012 0:00	750099	2.47	3599901	298.03

1/1/2013 0:00	750099	2.08	3599901	250.82
1/2/2013 0:00	750099	2.29	3599901	275.82
1/3/2013 0:00	750099	2.30	3599901	277.64
1/4/2013 0:00	750099	2.54	3599901	305.97
1/5/2013 0:00	750099	3.67	3599901	442.68
1/6/2013 0:00	750099	1.32	3599901	159.82
1/7/2013 0:00	750099	3.42	3599901	413.09
1/8/2013 0:00	750099	2.81	3599901	338.48
1/9/2013 0:00	750099	2.86	3599901	344.80
1/10/2013 0:00	750099	2.50	3599901	301.08
1/11/2013 0:00	750099	1.99	3599901	239.75
1/12/2013 0:00	750099	2.36	3599901	284.22
1/1/2014 0:00	750099	2.66	3599901	321.37
1/2/2014 0:00	750099	2.82	3599901	340.41
1/3/2014 0:00	750099	3.07	3599901	370.71
1/4/2014 0:00	750099	3.10	3599901	374.51
1/5/2014 0:00	750099	1.77	3599901	213.78
1/6/2014 0:00	750099	3.78	3599901	455.60
1/7/2014 0:00	750099	2.83	3599901	341.57
1/8/2014 0:00	750099	3.57	3599901	430.68
1/9/2014 0:00	750099	2.66	3599901	320.95
1/10/2014 0:00	750099	2.60	3599901	313.33
1/11/2014 0:00	750099	2.05	3599901	247.13
1/12/2014 0:00	750099	2.81	3599901	339.25
1/1/2015 0:00	750099	1.98	3599901	238.59
1/2/2015 0:00	750099	3.20	3599901	385.67
1/3/2015 0:00	750099	3.15	3599901	379.94
1/4/2015 0:00	750099	3.43	3599901	413.77
1/5/2015 0:00	750099	1.75	3599901	211.12
1/6/2015 0:00	750099	2.20	3599901	265.49
1/7/2015 0:00	750099	3.28	3599901	396.20
1/8/2015 0:00	750099	2.71	3599901	327.18
1/9/2015 0:00	750099	2.20	3599901	265.48
1/10/2015 0:00	750099	1.59	3599901	191.37
1/11/2015 0:00	750099	2.97	3599901	358.40
1/12/2015 0:00	750099	3.26	3599901	392.89
1/1/2016 0:00	750099	2.77	3599901	333.83
1/2/2016 0:00	750099	3.18	3599901	383.22
1/3/2016 0:00	750099	1.51	3599901	181.68
1/4/2016 0:00	750099	2.92	3599901	351.78
1/5/2016 0:00	750099	3.45	3599901	415.84
1/6/2016 0:00	750099	2.23	3599901	268.67
1/7/2016 0:00	750099	3.59	3599901	433.09
1/8/2016 0:00	750099	1.64	3599901	198.27
1/9/2016 0:00	750099	3.69	3599901	445.20
1/10/2016 0:00	750099	2.80	3599901	337.27

1/11/2016 0:00	750099	3.26	3599901	392.77
1/12/2016 0:00	750099	3.23	3599901	389.43
1/1/2017 0:00	750099	2.34	3599901	281.69
1/2/2017 0:00	750099	4.58	3599901	552.83
1/3/2017 0:00	750099	2.61	3599901	315.25
1/4/2017 0:00	750099	2.92	3599901	352.57
1/5/2017 0:00	750099	2.46	3599901	297.21
1/6/2017 0:00	750099	2.29	3599901	275.94
1/7/2017 0:00	750099	3.11	3599901	375.31
1/8/2017 0:00	750099	1.17	3599901	141.35
1/9/2017 0:00	750099	2.59	3599901	312.53
1/10/2017 0:00	750099	2.13	3599901	257.04
1/11/2017 0:00	750099	2.53	3599901	304.80
1/12/2017 0:00	750099	2.53	3599901	305.06
1/1/2018 0:00	750099	4.22	3599901	509.09
1/2/2018 0:00	750099	1.55	3599901	187.14
1/3/2018 0:00	750099	2.07	3599901	249.51
1/4/2018 0:00	750099	3.44	3599901	414.41
1/5/2018 0:00	750099	1.72	3599901	207.71
1/6/2018 0:00	750099	4.78	3599901	576.15
1/7/2018 0:00	750099	3.27	3599901	394.79
1/8/2018 0:00	750099	2.93	3599901	353.07
1/9/2018 0:00	750099	2.32	3599901	279.41
1/10/2018 0:00	750099	3.95	3599901	476.96
1/11/2018 0:00	750099	2.78	3599901	335.10
1/12/2018 0:00	750099	2.79	3599901	336.68

Πίνακας 2. Αναλυτικά αποτελέσματα του στοιχείου TANK από τη προσομοίωση του UWOT

ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ	Νερό από ΕΥΔΑΠ	
	Ζήτηση από το σύστημα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BOD (mg/L)
1/1/2006 0:00	0	-1
1/2/2006 0:00	0	-1
1/3/2006 0:00	0	-1
1/4/2006 0:00	0	-1
1/5/2006 0:00	5895085	-1
1/6/2006 0:00	0	-1
1/7/2006 0:00	5654925	-1
1/8/2006 0:00	6734358.5	-1
1/9/2006 0:00	0	-1
1/10/2006 0:00	0	-1
1/11/2006 0:00	0	-1
1/12/2006 0:00	0	-1

1/1/2007 0:00	1855901	-1
1/2/2007 0:00	0	-1
1/3/2007 0:00	0	-1
1/4/2007 0:00	2321368.25	-1
1/5/2007 0:00	0	-1
1/6/2007 0:00	1010696	-1
1/7/2007 0:00	7033243.5	-1
1/8/2007 0:00	6329618	-1
1/9/2007 0:00	5210813.5	-1
1/10/2007 0:00	0	-1
1/11/2007 0:00	0	-1
1/12/2007 0:00	0	-1
1/1/2008 0:00	0	-1
1/2/2008 0:00	0	-1
1/3/2008 0:00	0	-1
1/4/2008 0:00	0	-1
1/5/2008 0:00	4958804.5	-1
1/6/2008 0:00	6305091	-1
1/7/2008 0:00	6951731	-1
1/8/2008 0:00	3340844.75	-1
1/9/2008 0:00	0	-1
1/10/2008 0:00	1741663.5	-1
1/11/2008 0:00	0	-1
1/12/2008 0:00	0	-1
1/1/2009 0:00	0	-1
1/2/2009 0:00	0	-1
1/3/2009 0:00	0	-1
1/4/2009 0:00	0	-1
1/5/2009 0:00	0	-1
1/6/2009 0:00	6726671.5	-1
1/7/2009 0:00	2034457.5	-1
1/8/2009 0:00	6329618	-1
1/9/2009 0:00	0	-1
1/10/2009 0:00	0	-1
1/11/2009 0:00	0	-1
1/12/2009 0:00	0	-1
1/1/2010 0:00	0	-1
1/2/2010 0:00	0	-1
1/3/2010 0:00	0	-1
1/4/2010 0:00	4864459.5	-1
1/5/2010 0:00	1654978.25	-1
1/6/2010 0:00	0	-1
1/7/2010 0:00	0	-1
1/8/2010 0:00	6898285	-1
1/9/2010 0:00	0	-1
1/10/2010 0:00	0	-1

1/11/2010 0:00	0	-1
1/12/2010 0:00	0	-1
1/1/2011 0:00	0	-1
1/2/2011 0:00	0	-1
1/3/2011 0:00	0	-1
1/4/2011 0:00	0	-1
1/5/2011 0:00	0	-1
1/6/2011 0:00	0	-1
1/7/2011 0:00	6965930	-1
1/8/2011 0:00	6141951	-1
1/9/2011 0:00	4181436.5	-1
1/10/2011 0:00	0	-1
1/11/2011 0:00	2947901	-1
1/12/2011 0:00	0	-1
1/1/2012 0:00	0	-1
1/2/2012 0:00	0	-1
1/3/2012 0:00	0	-1
1/4/2012 0:00	0	-1
1/5/2012 0:00	0	-1
1/6/2012 0:00	6850424.5	-1
1/7/2012 0:00	7054895.5	-1
1/8/2012 0:00	6312047.5	-1
1/9/2012 0:00	0	-1
1/10/2012 0:00	0	-1
1/11/2012 0:00	0	-1
1/12/2012 0:00	0	-1
1/1/2013 0:00	0	-1
1/2/2013 0:00	0	-1
1/3/2013 0:00	0	-1
1/4/2013 0:00	3785189	-1
1/5/2013 0:00	1290976	-1
1/6/2013 0:00	757634.125	-1
1/7/2013 0:00	6882318	-1
1/8/2013 0:00	6672531	-1
1/9/2013 0:00	5227840	-1
1/10/2013 0:00	0	-1
1/11/2013 0:00	0	-1
1/12/2013 0:00	0	-1
1/1/2014 0:00	0	-1
1/2/2014 0:00	0	-1
1/3/2014 0:00	0	-1
1/4/2014 0:00	0	-1
1/5/2014 0:00	5354735.5	-1
1/6/2014 0:00	3686226.5	-1
1/7/2014 0:00	0	-1
1/8/2014 0:00	5799996	-1

1/9/2014 0:00	0	-1
1/10/2014 0:00	0	-1
1/11/2014 0:00	0	-1
1/12/2014 0:00	0	-1
1/1/2015 0:00	0	-1
1/2/2015 0:00	0	-1
1/3/2015 0:00	0	-1
1/4/2015 0:00	443172.125	-1
1/5/2015 0:00	0	-1
1/6/2015 0:00	0	-1
1/7/2015 0:00	3233551	-1
1/8/2015 0:00	6580441.5	-1
1/9/2015 0:00	0	-1
1/10/2015 0:00	0	-1
1/11/2015 0:00	0	-1
1/12/2015 0:00	2023901	-1
1/1/2016 0:00	0	-1
1/2/2016 0:00	0	-1
1/3/2016 0:00	0	-1
1/4/2016 0:00	4915970.5	-1
1/5/2016 0:00	4530630	-1
1/6/2016 0:00	0	-1
1/7/2016 0:00	6709930	-1
1/8/2016 0:00	6634972.5	-1
1/9/2016 0:00	0	-1
1/10/2016 0:00	0	-1
1/11/2016 0:00	0	-1
1/12/2016 0:00	0	-1
1/1/2017 0:00	0	-1
1/2/2017 0:00	0	-1
1/3/2017 0:00	0	-1
1/4/2017 0:00	2140046.5	-1
1/5/2017 0:00	0	-1
1/6/2017 0:00	0	-1
1/7/2017 0:00	3233551	-1
1/8/2017 0:00	6329618	-1
1/9/2017 0:00	0	-1
1/10/2017 0:00	0	-1
1/11/2017 0:00	0	-1
1/12/2017 0:00	0	-1
1/1/2018 0:00	0	-1
1/2/2018 0:00	0	-1
1/3/2018 0:00	0	-1
1/4/2018 0:00	0	-1
1/5/2018 0:00	0	-1
1/6/2018 0:00	2336951.25	-1

1/7/2018 0:00	4529104	-1
1/8/2018 0:00	4140397	-1
1/9/2018 0:00	0	-1
1/10/2018 0:00	0	-1
1/11/2018 0:00	0	-1
1/12/2018 0:00	0	-1

Πίνακας 3. Αναλυτικά αποτελέσματα του UWOT για δύο μονάδες Sewer Mining

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ΜΟΝΑΔΩΝ S. MIMING

ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ	Παραγόμενο Νερό		Υπολειπόμενα Λύματα	
	Ποσότητα Νερού (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)	Ποσότητα Λυμάτων (L/μήνα)	Συγκέντρωση BAO (mg/L)
1/1/2006 0:00	1500198	3	2849802	442
1/2/2006 0:00	1500198	3	2849802	505
1/3/2006 0:00	1500198	2	2849802	333
1/4/2006 0:00	1500198	4	2849802	626
1/5/2006 0:00	1500198	2	2849802	377
1/6/2006 0:00	1500198	2	2849802	288
1/7/2006 0:00	1500198	2	2849802	303
1/8/2006 0:00	1500198	2	2849802	319
1/9/2006 0:00	1500198	2	2849802	290
1/10/2006 0:00	1500198	4	2849802	537
1/11/2006 0:00	1500198	2	2849802	359
1/12/2006 0:00	1500198	3	2849802	509
1/1/2007 0:00	1500198	2	2849802	371
1/2/2007 0:00	1500198	4	2849802	574
1/3/2007 0:00	1500198	3	2849802	381
1/4/2007 0:00	1500198	2	2849802	360
1/5/2007 0:00	1500198	3	2849802	463
1/6/2007 0:00	1500198	3	2849802	408
1/7/2007 0:00	1500198	2	2849802	298
1/8/2007 0:00	1500198	2	2849802	310
1/9/2007 0:00	1500198	3	2849802	437
1/10/2007 0:00	1500198	3	2849802	460
1/11/2007 0:00	1500198	3	2849802	431
1/12/2007 0:00	1500198	2	2849802	315
1/1/2008 0:00	1500198	4	2849802	536
1/2/2008 0:00	1500198	4	2849802	637
1/3/2008 0:00	1500198	2	2849802	358
1/4/2008 0:00	1500198	2	2849802	352
1/5/2008 0:00	1500198	3	2849802	381
1/6/2008 0:00	1500198	3	2849802	430
1/7/2008 0:00	1500198	2	2849802	233
1/8/2008 0:00	1500198	3	2849802	444
1/9/2008 0:00	1500198	1	2849802	139
1/10/2008 0:00	1500198	3	2849802	406

1/11/2008 0:00	1500198	3	2849802	499
1/12/2008 0:00	1500198	2	2849802	357
1/1/2009 0:00	1500198	3	2849802	530
1/2/2009 0:00	1500198	2	2849802	377
1/3/2009 0:00	1500198	1	2849802	143
1/4/2009 0:00	1500198	3	2849802	465
1/5/2009 0:00	1500198	2	2849802	358
1/6/2009 0:00	1500198	4	2849802	604
1/7/2009 0:00	1500198	3	2849802	404
1/8/2009 0:00	1500198	3	2849802	462
1/9/2009 0:00	1500198	2	2849802	299
1/10/2009 0:00	1500198	4	2849802	545
1/11/2009 0:00	1500198	2	2849802	282
1/12/2009 0:00	1500198	3	2849802	405
1/1/2010 0:00	1500198	2	2849802	372
1/2/2010 0:00	1500198	2	2849802	355
1/3/2010 0:00	1500198	2	2849802	349
1/4/2010 0:00	1500198	3	2849802	404
1/5/2010 0:00	1500198	1	2849802	167
1/6/2010 0:00	1500198	3	2849802	489
1/7/2010 0:00	1500198	2	2849802	374
1/8/2010 0:00	1500198	1	2849802	218
1/9/2010 0:00	1500198	2	2849802	257
1/10/2010 0:00	1500198	2	2849802	343
1/11/2010 0:00	1500198	2	2849802	326
1/12/2010 0:00	1500198	2	2849802	372
1/1/2011 0:00	1500198	1	2849802	200
1/2/2011 0:00	1500198	2	2849802	315
1/3/2011 0:00	1500198	3	2849802	489
1/4/2011 0:00	1500198	2	2849802	363
1/5/2011 0:00	1500198	3	2849802	453
1/6/2011 0:00	1500198	3	2849802	426
1/7/2011 0:00	1500198	3	2849802	387
1/8/2011 0:00	1500198	4	2849802	567
1/9/2011 0:00	1500198	4	2849802	560
1/10/2011 0:00	1500198	2	2849802	285
1/11/2011 0:00	1500198	2	2849802	255
1/12/2011 0:00	1500198	2	2849802	275
1/1/2012 0:00	1500198	2	2849802	290
1/2/2012 0:00	1500198	2	2849802	281
1/3/2012 0:00	1500198	3	2849802	454
1/4/2012 0:00	1500198	2	2849802	350
1/5/2012 0:00	1500198	4	2849802	535
1/6/2012 0:00	1500198	2	2849802	307
1/7/2012 0:00	1500198	1	2849802	214
1/8/2012 0:00	1500198	4	2849802	616

1/9/2012 0:00	1500198	2	2849802	260
1/10/2012 0:00	1500198	3	2849802	524
1/11/2012 0:00	1500198	2	2849802	283
1/12/2012 0:00	1500198	2	2849802	376
1/1/2013 0:00	1500198	2	2849802	316
1/2/2013 0:00	1500198	2	2849802	348
1/3/2013 0:00	1500198	2	2849802	350
1/4/2013 0:00	1500198	3	2849802	386
1/5/2013 0:00	1500198	4	2849802	558
1/6/2013 0:00	1500198	1	2849802	202
1/7/2013 0:00	1500198	3	2849802	521
1/8/2013 0:00	1500198	3	2849802	427
1/9/2013 0:00	1500198	3	2849802	435
1/10/2013 0:00	1500198	2	2849802	380
1/11/2013 0:00	1500198	2	2849802	302
1/12/2013 0:00	1500198	2	2849802	358
1/1/2014 0:00	1500198	3	2849802	405
1/2/2014 0:00	1500198	3	2849802	429
1/3/2014 0:00	1500198	3	2849802	467
1/4/2014 0:00	1500198	3	2849802	472
1/5/2014 0:00	1500198	2	2849802	270
1/6/2014 0:00	1500198	4	2849802	575
1/7/2014 0:00	1500198	3	2849802	431
1/8/2014 0:00	1500198	4	2849802	543
1/9/2014 0:00	1500198	3	2849802	405
1/10/2014 0:00	1500198	3	2849802	395
1/11/2014 0:00	1500198	2	2849802	312
1/12/2014 0:00	1500198	3	2849802	428
1/1/2015 0:00	1500198	2	2849802	301
1/2/2015 0:00	1500198	3	2849802	486
1/3/2015 0:00	1500198	3	2849802	479
1/4/2015 0:00	1500198	3	2849802	522
1/5/2015 0:00	1500198	2	2849802	266
1/6/2015 0:00	1500198	2	2849802	335
1/7/2015 0:00	1500198	3	2849802	500
1/8/2015 0:00	1500198	3	2849802	413
1/9/2015 0:00	1500198	2	2849802	335
1/10/2015 0:00	1500198	2	2849802	241
1/11/2015 0:00	1500198	3	2849802	452
1/12/2015 0:00	1500198	3	2849802	495
1/1/2016 0:00	1500198	3	2849802	421
1/2/2016 0:00	1500198	3	2849802	483
1/3/2016 0:00	1500198	2	2849802	229
1/4/2016 0:00	1500198	3	2849802	444
1/5/2016 0:00	1500198	3	2849802	524
1/6/2016 0:00	1500198	2	2849802	339

1/7/2016 0:00	1500198	4	2849802	546
1/8/2016 0:00	1500198	2	2849802	250
1/9/2016 0:00	1500198	4	2849802	561
1/10/2016 0:00	1500198	3	2849802	425
1/11/2016 0:00	1500198	3	2849802	495
1/12/2016 0:00	1500198	3	2849802	491
1/1/2017 0:00	1500198	2	2849802	355
1/2/2017 0:00	1500198	5	2849802	697
1/3/2017 0:00	1500198	3	2849802	398
1/4/2017 0:00	1500198	3	2849802	445
1/5/2017 0:00	1500198	2	2849802	375
1/6/2017 0:00	1500198	2	2849802	348
1/7/2017 0:00	1500198	3	2849802	473
1/8/2017 0:00	1500198	1	2849802	178
1/9/2017 0:00	1500198	3	2849802	394
1/10/2017 0:00	1500198	2	2849802	324
1/11/2017 0:00	1500198	3	2849802	384
1/12/2017 0:00	1500198	3	2849802	385
1/1/2018 0:00	1500198	4	2849802	642
1/2/2018 0:00	1500198	2	2849802	236
1/3/2018 0:00	1500198	2	2849802	315
1/4/2018 0:00	1500198	3	2849802	523
1/5/2018 0:00	1500198	2	2849802	262
1/6/2018 0:00	1500198	5	2849802	727
1/7/2018 0:00	1500198	3	2849802	498
1/8/2018 0:00	1500198	3	2849802	445
1/9/2018 0:00	1500198	2	2849802	352
1/10/2018 0:00	1500198	4	2849802	601
1/11/2018 0:00	1500198	3	2849802	423
1/12/2018 0:00	1500198	3	2849802	425

Πίνακας 4. Αναλυτικά αποτελέσματα του στοιχείου TANK από τη 2^η προσομοίωση του UWOT

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ		
Νερό από ΕΥΔΑΠ		
Χρονικό Βήμα	Ζήτηση από το σύστημα (L/μήνα)	Συγκέντρωση BOD (mg/L)
1/1/2006 0:00	0	-1
1/2/2006 0:00	0	-1
1/3/2006 0:00	0	-1
1/4/2006 0:00	0	-1
1/5/2006 0:00	5154986	-1
1/6/2006 0:00	0	-1
1/7/2006 0:00	4914826	-1

1/8/2006 0:00	5984259.5	-1
1/9/2006 0:00	0	-1
1/10/2006 0:00	0	-1
1/11/2006 0:00	0	-1
1/12/2006 0:00	0	-1
1/1/2007 0:00	1115802	-1
1/2/2007 0:00	0	-1
1/3/2007 0:00	0	-1
1/4/2007 0:00	1581269.25	-1
1/5/2007 0:00	0	-1
1/6/2007 0:00	270597	-1
1/7/2007 0:00	6283144.5	-1
1/8/2007 0:00	5579519	-1
1/9/2007 0:00	4460714.5	-1
1/10/2007 0:00	0	-1
1/11/2007 0:00	0	-1
1/12/2007 0:00	0	-1
1/1/2008 0:00	0	-1
1/2/2008 0:00	0	-1
1/3/2008 0:00	0	-1
1/4/2008 0:00	0	-1
1/5/2008 0:00	4218705.5	-1
1/6/2008 0:00	5554992	-1
1/7/2008 0:00	6201632	-1
1/8/2008 0:00	2590745.75	-1
1/9/2008 0:00	0	-1
1/10/2008 0:00	1001564.5	-1
1/11/2008 0:00	0	-1
1/12/2008 0:00	0	-1
1/1/2009 0:00	0	-1
1/2/2009 0:00	0	-1
1/3/2009 0:00	0	-1
1/4/2009 0:00	0	-1
1/5/2009 0:00	0	-1
1/6/2009 0:00	5986572.5	-1
1/7/2009 0:00	1284358.5	-1
1/8/2009 0:00	5579519	-1
1/9/2009 0:00	0	-1
1/10/2009 0:00	0	-1
1/11/2009 0:00	0	-1
1/12/2009 0:00	0	-1
1/1/2010 0:00	0	-1
1/2/2010 0:00	0	-1
1/3/2010 0:00	0	-1

1/4/2010 0:00	4124360.5	-1
1/5/2010 0:00	904879.25	-1
1/6/2010 0:00	0	-1
1/7/2010 0:00	0	-1
1/8/2010 0:00	6158186	-1
1/9/2010 0:00	0	-1
1/10/2010 0:00	0	-1
1/11/2010 0:00	0	-1
1/12/2010 0:00	0	-1
1/1/2011 0:00	0	-1
1/2/2011 0:00	0	-1
1/3/2011 0:00	0	-1
1/4/2011 0:00	0	-1
1/5/2011 0:00	0	-1
1/6/2011 0:00	0	-1
1/7/2011 0:00	6225831	-1
1/8/2011 0:00	5391852	-1
1/9/2011 0:00	3431337.5	-1
1/10/2011 0:00	0	-1
1/11/2011 0:00	2207802	-1
1/12/2011 0:00	0	-1
1/1/2012 0:00	0	-1
1/2/2012 0:00	0	-1
1/3/2012 0:00	0	-1
1/4/2012 0:00	0	-1
1/5/2012 0:00	0	-1
1/6/2012 0:00	6110325.5	-1
1/7/2012 0:00	6304796.5	-1
1/8/2012 0:00	5561948.5	-1
1/9/2012 0:00	0	-1
1/10/2012 0:00	0	-1
1/11/2012 0:00	0	-1
1/12/2012 0:00	0	-1
1/1/2013 0:00	0	-1
1/2/2013 0:00	0	-1
1/3/2013 0:00	0	-1
1/4/2013 0:00	3045090	-1
1/5/2013 0:00	540877	-1
1/6/2013 0:00	7535.125	-1
1/7/2013 0:00	6132219	-1
1/8/2013 0:00	5922432	-1
1/9/2013 0:00	4477741	-1
1/10/2013 0:00	0	-1
1/11/2013 0:00	0	-1

1/12/2013 0:00	0	-1
1/1/2014 0:00	0	-1
1/2/2014 0:00	0	-1
1/3/2014 0:00	0	-1
1/4/2014 0:00	0	-1
1/5/2014 0:00	4614636.5	-1
1/6/2014 0:00	2936127.5	-1
1/7/2014 0:00	0	-1
1/8/2014 0:00	5059897	-1
1/9/2014 0:00	0	-1
1/10/2014 0:00	0	-1
1/11/2014 0:00	0	-1
1/12/2014 0:00	0	-1
1/1/2015 0:00	0	-1
1/2/2015 0:00	0	-1
1/3/2015 0:00	0	-1
1/4/2015 0:00	0	-1
1/5/2015 0:00	0	-1
1/6/2015 0:00	0	-1
1/7/2015 0:00	2493452	-1
1/8/2015 0:00	5830342.5	-1
1/9/2015 0:00	0	-1
1/10/2015 0:00	0	-1
1/11/2015 0:00	0	-1
1/12/2015 0:00	1283802	-1
1/1/2016 0:00	0	-1
1/2/2016 0:00	0	-1
1/3/2016 0:00	0	-1
1/4/2016 0:00	4175871.5	-1
1/5/2016 0:00	3780531	-1
1/6/2016 0:00	0	-1
1/7/2016 0:00	5969831	-1
1/8/2016 0:00	5884873.5	-1
1/9/2016 0:00	0	-1
1/10/2016 0:00	0	-1
1/11/2016 0:00	0	-1
1/12/2016 0:00	0	-1
1/1/2017 0:00	0	-1
1/2/2017 0:00	0	-1
1/3/2017 0:00	0	-1
1/4/2017 0:00	1399947.5	-1
1/5/2017 0:00	0	-1
1/6/2017 0:00	0	-1
1/7/2017 0:00	2493452	-1

1/8/2017 0:00	5579519	-1
1/9/2017 0:00	0	-1
1/10/2017 0:00	0	-1
1/11/2017 0:00	0	-1
1/12/2017 0:00	0	-1
1/1/2018 0:00	0	-1
1/2/2018 0:00	0	-1
1/3/2018 0:00	0	-1
1/4/2018 0:00	0	-1
1/5/2018 0:00	0	-1
1/6/2018 0:00	1596852.25	-1
1/7/2018 0:00	3779005	-1
1/8/2018 0:00	3390298	-1
1/9/2018 0:00	0	-1
1/10/2018 0:00	0	-1
1/11/2018 0:00	0	-1
1/12/2018 0:00	0	-1