



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ, ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων για την επιλογή μεθόδων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης των Πατρών στο πλαίσιο της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Γεώργιος Μ. Μαντωνανάκης

Επιβλέπων καθηγητής:
Χρίστος Καραβίτης, Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2022

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων για την επιλογή μεθόδων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης των Πατρών στο πλαίσιο της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

“Application of Decision Support Systems for the selection of methods of treatment and reuse of urban wastewater of the city of Patras in the context of Integrated Water Resources Management”

Γεώργιος Μ. Μαντωνανάκης

Εξεταστική Επιτροπή:

Χρίστος Καραβίτης, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Νικόλαος Δέρκας, Καθηγητής ΓΠΑ

Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων για την επιλογή μεθόδων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης των Πατρών στο πλαίσιο της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

*ΠΜΣ Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον & Γεωργική Μηχανική
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η επιλογή μεθόδου επεξεργασίας - επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης των Πατρών, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων, χρησιμοποιώντας το πρωτότυπο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων DSS POSEIDON, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος COROADO. Αφού μελετήσαμε τις οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, τα χαρακτηριστικά των λυμάτων και τις προδιαγραφές εκροής, επιλέξαμε με τη βοήθεια του συστήματος την καταλληλότερη γραμμή επεξεργασίας για κάθε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης. Επίσης έγινε σύγκριση των προτεινόμενων με τις υφιστάμενες μεθόδους και συζήτηση σχετικά με τις δυνατότητές τους να ανταποκριθούν στις μελλοντικές ανάγκες. Η μελέτη έγινε για δύο πληθυσμιακά σενάρια, ένα απαισιόδοξο 225 χιλιάδων κατοίκων και ένα αισιόδοξο 360 χιλιάδων κατοίκων. Για όλες τις περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης προκρίθηκαν τα συστήματα ενεργού ιλύος με διαφοροποιήσεις στο τριτοβάθμιο στάδιο επεξεργασίας. Έτσι, στην περίπτωση της άρδευσης και της θαλάσσιας διάθεσης προτάθηκε η προσθήκη ενός διυλιστηρίου διπλού μέσου και ενίσχυση της αφαίρεσης θρεπτικών με προσθήκη χημικών. Για τις απαιτητικότερες περιπτώσεις του εμπλουτισμού και της αστικής χρήσης προτείνεται η προσθήκη πολλαπλών διατάξεων διήθησης και τελική εφαρμογή σε εδαφικό φίλτρο. Η χρήση του DSS POSEIDON εκτός από τη λύση πραγματικών προβλημάτων σχεδιασμού απέδειξε πως αποτελεί επίσης και εκπαιδευτικό εργαλείο συνεισφέροντας στη λεγόμενη ανάπτυξη ικανοτήτων (capacity building) στο πεδίο της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων.

Επιστημονική περιοχή: Τεχνολογία του Περιβάλλοντος

Λέξεις κλειδιά: Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Application of Decision Support Systems for the selection of methods of treatment and reuse of urban wastewater of the city of Patras in the context of Integrated Water Resources Management

*MSc Natural Resources, Geoenvironment & Agricultural Engineering
Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering
Laboratory of Mineralogy - Geology*

ABSTRACT

The goal of this work is the selection of a treatment - reuse method for the municipal wastewater of the city of Patras, in the context of integrated water resources management, using the innovative Decision Support System DSS POSEIDON, developed in the context of the COROADO research program. After studying the economic and environmental conditions of the area, the wastewater characteristics and the effluent specifications, we selected with the help of the system the most suitable treatment line for each reuse case. A comparison of the proposed with the existing methods was also made and a discussion regarding their possibilities to respond to future needs. The study was implemented for two population scenarios, a pessimistic one of 225 thousand inhabitants and an optimistic of 360 thousand inhabitants. For all cases of reuse, activated sludge systems with variations in the tertiary treatment stage were qualified. Thus, in the case of irrigation and marine disposal it was proposed to add a dual media filter and enhance nutrient removal by adding chemicals. For the most demanding cases of groundwater enrichment and urban use, the addition of multiple filtration devices and final application in a soil filter is recommended. The use of DSS POSEIDON, in addition to the solution of real design problems, proved to be an educational tool too, contributing to the so-called capacity building in the field of the reuse of treated wastewater.

Scientific area: Environmental Engineering

Keywords: Decision support systems, Water resources integrated management, Wastewater treatment and reuse

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	6
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
2.1 Γενικές έννοιες	7
2.1.1 Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων	8
2.1.2 Έργα ύδρευσης και η πίεση τους στο γεωπεριβάλλον	9
2.1.3 Έργα Αποχέτευσης και η πίεση τους στο γεωπεριβάλλον	11
2.1.4 Συστήματα αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων	15
2.1.5 Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων	18
2.1.6 Επιλογή μεθόδου διαχείρισης υγρών αστικών αποβλήτων	20
2.2 Προμελέτη σκοπιμότητας	22
2.2.1 Αρχικό έτος και έτος σχεδιασμού	24
2.2.2 Εξυπηρετούμενη έκταση	25
2.2.3 Θέση εγκατάστασης	25
2.2.4 Εξυπηρετούμενος Πληθυσμός	26
2.2.5 Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων	27
2.2.5.1 Θολότητα	27
2.2.5.2 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	28
2.2.5.3 Ολικά Διαλυτά Στερεά	28
2.2.5.4 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	28
2.2.5.5 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	29
2.2.5.6 Ολικός Οργανικός Άνθρακας	29
2.2.5.7 Ολικό Άζωτο	29
2.2.5.8 Νιτρικό Άζωτο	29
2.2.5.9 Ολικός Φώσφορος	30
2.2.5.10 Ολικά κολοβακτηρίδια	30
2.2.5.11 Κολοβακτηρίδια Κοπράνων	30
2.2.5.12 Ιικό φορτίο	30
2.2.6 Ισχύοντες κανονισμοί και προδιαγραφές εκροής	31
2.2.6.1 Διάθεση σε υδάτινο αποδέκτη	32
2.2.6.2 Επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία	32
2.2.6.3 Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία	34
2.2.6.4 Επαναχρησιμοποίηση σε αστικές χρήσεις	34
2.2.6.5 Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων	35
2.2.7 Βαθμός επεξεργασίας	36

2.2.8	Επιλογή μονάδων και γραμμών επεξεργασίας.....	37
2.2.9	Επιλογή εξοπλισμού.....	38
2.2.10	Διαρρύθμιση, υδραυλική κατατομή και απαιτήσεις σε ενέργεια.....	38
2.2.11	Τα οικονομικά του έργου.....	38
2.2.12	Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.....	39
2.3	Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων.....	39
2.3.1	Ιστορία Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων.....	40
2.3.2	Δομή και λειτουργία Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων.....	41
2.3.3	Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στην επεξεργασία λυμάτων.....	42
2.3.4	Προβλήματα και προοπτικές.....	44
3.	Μεθοδολογία.....	46
4.	Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	48
4.1	Γεωγραφία - Γεωλογία.....	49
4.2	Πληθυσμός.....	50
4.3	Οικονομία.....	51
4.4	Υδατικές συνθήκες και υποδομές.....	52
4.5	Συνοπτική περιγραφή της υφιστάμενης γραμμής επεξεργασίας.....	53
4.6	Περιβαλλοντικές προκλήσεις.....	55
5.	Το DSS POSEIDON.....	56
5.1	Το υλικό του συστήματος.....	56
5.3	Μέθοδος λειτουργίας.....	58
5.3	Χρησιμότητα του DSS POSEIDON.....	59
6.	Εφαρμογή του DSS POSEIDON.....	61
6.1	Ποσοτικά και Οικονομικά δεδομένα σχεδιασμού.....	61
6.1.1	Παροχή.....	61
6.1.2	Κόστος Γης.....	63
6.1.3	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.....	63
6.1.4	Κόστος προσωπικού.....	64
6.1.5	Ισοτιμία νομίσματος με το δολάριο.....	66
6.1.6	Συντελεστής προεξόφλησης.....	66
6.2	Ποιοτικά δεδομένα σχεδιασμού.....	66
6.3	Ποιοτικές απαιτήσεις επεξεργασμένης εκροής.....	67
6.4	Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας.....	68
7.	Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	70
7.1	Επιλογή γραμμών επεξεργασίας.....	70
7.2	Μονάδες επεξεργασίας.....	74

7.3 Η γραμμή Title 22: USA I	75
8. Συμπεράσματα	76
8.1 Σχολιασμός διαδικασίας	76
8.2 Αξιολόγηση υφιστάμενης ΕΕΛ Πάτρας	76
8.3 Συγκριτική αξιολόγηση Title 22: USA I και υφιστάμενης εγκατάστασης.....	77
8.4 Σύγκριση μεθόδων επαναχρησιμοποίησης	78
8.5 Προτάσεις για την εγκατάσταση	79
8.6 Προτάσεις για το DSS POSEIDON	80
8.7 Μελλοντικά σχέδια	80
9. Επίλογος	82
Βιβλιογραφικές Αναφορές	84

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Ποσοστό επεξεργασμένων οικιακών εκροών κάθε κράτους (Ritchie, 2021).	17
Εικόνα 2: Η θέση της Πάτρας στον Ελληνικό χώρο (πηγή Google maps)	48
Εικόνα 3: Δήμος Πατρέων (πηγή: Google maps)	48
Εικόνα 4: Αεροφωτογραφία του παραλιακού μετώπου της Πάτρας (πηγή: Google Earth) ..	49
Εικόνα 5: Πληθυσμιακή ιστορία Πάτρας	51
Εικόνα 6: Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Δήμου Πατρέων (πηγή Google Earth).....	53
Εικόνα 7: Αισιόδοξη πρόβλεψη πληθυσμού.....	61
Εικόνα 8: Απαισιόδοξη πρόβλεψη πληθυσμού	62
Εικόνα 9: Εξέλιξη τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε Ελλάδα, Ευρώπη των 27 και Ευρωζώνη ..	64
Εικόνα 10: Ωριαία αποζημίωση εργασίας σε ευρωπαϊκή κλίμακα (Eurostat, Average hourly cost in selected european countries in 2020 (euros), 2021).....	65

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ποιοτικός χαρακτηρισμός έντασης πίεσης απολήψεων (ΦΕΚ1004B, 2013).....	10
Πίνακας 2: Εφαρμογές ανακτημένου ύδατος (Sanz, 2014)	19
Πίνακας 3: Μεθοδολογία προμελέτης επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων (Oertle, 2019).	23
Πίνακας 4: Προδιαγραφές εκροής ανά τρόπο διάθεσης.....	36
Πίνακας 5: Διάγραμμα ροής των δράσεων της εργασίας.....	47
Πίνακας 6: Απογραφικά δεδομένα του πληθυσμού της Πάτρας	50
Πίνακας 7: Μονάδες επεξεργασίας του DSS POSEIDON (Oertle, 2019).	57
Πίνακας 8: Βασικές κατηγορίες γραμμών επεξεργασίας.....	58
Πίνακας 9: Διαθέσιμες ποιοτικές παράμετροι του DSS POSEIDON.....	59
Πίνακας 10: Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας (European Commission, 2018).....	64
Πίνακας 11: Προδιαγραφές επεξεργασμένης εκροής ανά είδος επαναχρησιμοποίησης	68
Πίνακας 12: Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας ανά ρύπο και είδος επαναχρησιμοποίησης.....	69
Πίνακας 13: Φάση Α' – Περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση	71
Πίνακας 14: Φάση Β' – Περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση	71
Πίνακας 15: Φάση Α' – Διάθεση στη θάλασσα.....	71
Πίνακας 16: Φάση Β' – Διάθεση στη θάλασσα.....	72
Πίνακας 17: Φάση Α' – Απεριόριστη χρήση.....	72
Πίνακας 18: Φάση Β' – Απεριόριστη χρήση.....	73
Πίνακας 19: Φάση Α' – Απεριόριστος εμπλουτισμός, Αστική χρήση	73
Πίνακας 20: Φάση Β' – Απεριόριστος εμπλουτισμός, Αστική χρήση	73
Πίνακας 21: Προτεινόμενες γραμμές επεξεργασίας	74

1. Εισαγωγή

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η επιλογή μεθόδου επεξεργασίας - επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης των Πατρών, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων, χρησιμοποιώντας το πρωτότυπο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων DSS POSEIDON, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος COROADO (COROADO, 2015). Αφού μελετήσαμε τις οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, τα χαρακτηριστικά των λυμάτων και τις προδιαγραφές εκροής, επιλέξαμε με τη βοήθεια του συστήματος την καταλληλότερη γραμμή επεξεργασίας για κάθε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης. Επίσης έγινε σύγκριση των προτεινόμενων με τις υφιστάμενες μεθόδους και συζήτηση σχετικά με τις δυνατότητές τους να ανταποκριθούν στις μελλοντικές ανάγκες. Η μελέτη έγινε για δύο πληθυσμιακά σενάρια, ένα απαισιόδοξο 225 χιλιάδων κατοίκων και ένα αισιόδοξο 360 χιλιάδων κατοίκων.

Για όλες τις περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης προκρίθηκαν τα συστήματα ενεργού ιλύος με διαφοροποιήσεις στο τρίτοβάθμιο στάδιο επεξεργασίας. Έτσι, στην περίπτωση της άρδευσης και της θαλάσσιας διάθεσης προτάθηκε η προσθήκη ενός διυλιστηρίου διπλού μέσου και ενίσχυση της αφαίρεσης θρεπτικών με προσθήκη χημικών. Για τις απαιτητικότερες περιπτώσεις του εμπλουτισμού και της αστικής χρήσης προτείνεται η προσθήκη πολλαπλών διατάξεων διήθησης και τελική εφαρμογή σε εδαφικό φίλτρο. Στην περίπτωση αυτή το νερό καθίσταται σχεδόν πόσιμο και μπορεί να διατεθεί σε υδροσυστήματα που τροφοδοτούν δίκτυα ύδρευσης (έμμεση επαναχρησιμοποίηση).

Το περιεχόμενο της εργασίας οργανώνεται σε κεφάλαια. Στο 1ο κεφάλαιο αναφέρεται το θέμα της εργασίας και το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου. Στο 2ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υπάρχουσα στη βιβλιογραφία γνώση σχετικά με το θέμα μας. Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία και οι δράσεις με τις οποίες φτάσαμε στην επίτευξη του στόχου. Στο 4ο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν το προς επίλυση πρόβλημα. Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το DSS POSEIDON και οι λόγοι που το επιλέξαμε. Στο 6ο κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα δεδομένα του προβλήματος, οι ποιοτικές προδιαγραφές της επαναχρησιμοποίησης και περιγράφεται η εκτέλεση του προγράμματος. Στο 7ο κεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα και εξηγείται ο τρόπος εφαρμογής τους στην πράξη. Στο 8ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και γίνεται μια γενική αποτίμηση της προσπάθειας. Στο 9ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνονται ορισμένες εκτιμήσεις για την πρόοδο της επαναχρησιμοποίησης και των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και δίνονται οι προτάσεις μας τόσο για την περιοχή μελέτης, όσο και για το ίδιο το DSS POSEIDON.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Γενικές έννοιες

Το νερό παίζει σημαντικότερο ρόλο στην ανθρώπινη οικονομία με ένα ευρύτατο φάσμα ωφελειών που ξεπερνά κατά πολύ την κάλυψη της δίψας. 70% περίπου του «φρέσκου» ή κατά το ελληνικότερο του «νεαρού ύδατος» που καταναλώνεται από τον άνθρωπο, διοχετεύεται στη γεωργία (World bank, 2020). Η αλιεία σε ύδατα κάθε επιπέδου αλατότητας καλύπτει σε 70 κράτη του κόσμου περισσότερο από το 20% της πρόσληψης πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης (FAO, 2018). Το 80% του διεθνούς εμπορίου διεξάγεται με πλοία, μέσα από υδάτινες διόδους (UNCTAD, 2020). Μεγάλες ποσότητες ύδατος, πάγου και ατμού, χρησιμοποιούνται σαν θερμικό και ψυκτικό μέσο στις βιομηχανίες και τα νοικοκυριά. Οι άριστες διαλυτικές ιδιότητές του αξιοποιούνται σε βιομηχανικές διεργασίες, στο μαγείρεμα και το πλύσιμο. Η δυναμική ενέργεια του ύδατος αξιοποιείται σε μεγάλη κλίμακα παράγοντας το 16% του ηλεκτρισμού παγκοσμίως (IEA, 2021). Τέλος, τα υδάτινα σώματα, το χιόνι και ο πάγος παρέχουν αναψυχή μέσω διαφόρων αθλημάτων όπως κολύμβηση, ιστιοπλοΐα, χιονοδρομία και παγοδρομία.

Έμμεσες ωφέλειες είναι η διαμόρφωση του μικροκλίματος και της ποικιλότητας των οικοσυστημάτων μέσα από τις διάφορες παραλλαγές του υδρολογικού κύκλου. Η ποικιλότητα αυτή διευρύνει το φάσμα των γεωργικών προϊόντων και κάνει τη ζωή σε κάθε περιοχή ενδιαφέρουσα και μοναδική. Οι άνθρωποι τείνουν να κατοικούν κοντά σε υδροσυστήματα και τα πιο μοναδικά από αυτά γίνονται πόλοι έλξης τουριστών.

Για την εξυπηρέτηση των παραπάνω αναγκών έχουν αναπτυχθεί τα κατάλληλα έργα υποδομής, δε λείπουν όμως και οι αρνητικές επιπτώσεις, τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και μεταξύ των ίδιων των έργων. Έτσι λοιπόν τα μεγάλα έργα απόληψης ύδατος στερούν νερό από τα φυσικά οικοσυστήματα και μπορεί να φτάσουν μέχρι και την τελική αποξήρανση τους, όπως συνέβη στη λίμνη Αράλη στην Κεντρική Ασία (Liston, 2014). Εάν η απόληψη γίνεται σε παραθαλάσσιο περιβάλλον, έχουμε το πρόβλημα της εισροής αλμυρού ύδατος στον υδροφόρο σχηματισμό με αποτέλεσμα την καταστροφή του (Barlow, 2016). Την ίδια στιγμή οι εξαχθείσες ποσότητες ύδατος, αφού χρησιμοποιηθούν, απελευθερώνονται στα ίδια ή άλλα υδροσυστήματα, επιβαρυνόμενες όμως με ρυπαντικό ή θερμικό φορτίο τέτοιο, ώστε τα υδροσυστήματα αυτά να καθίστανται ακατάλληλα για τις αρχικές χρήσεις τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ρύπανση του ύδατος (Sperling, 2015). Η εγκατάσταση του ανθρώπου κοντά στα υδροσυστήματα, τα έργα ναυσιπλοΐας, τα υδροηλεκτρικά και τα εγγειοβελτιωτικά έργα, προκαλούν έντονες τροποποιήσεις στα φυσικά υδροσυστήματα με αποτέλεσμα την ποσοτική και ποιοτική υποβάθμισή τους.

Όλα τα παραπάνω δημιουργούν ένα εκρηκτικό μίγμα, ιδιαίτερα σε περιοχές μεγάλης πληθυσμιακής συγκέντρωσης. Έτσι απαιτείται μια σφαιρική προσέγγιση του θέματος ώστε και το νερό να φτάσει για όλες τις χρήσεις και να προστατευτούν τα

υδροσυστήματα από ποσοτικές και ποιοτικές πιέσεις. Η προσέγγιση αυτή ονομάζεται Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.

2.1.1 Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων

Η ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων ορίσθηκε το 2000 από τον οργανισμό «Διεθνής Συνεργασία για το Νερό» (Global Water Partnership) ως μια διαδικασία που προωθεί τη συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση υδάτων, γης και σχετικών πόρων με στόχο τη μεγιστοποίηση της προκύπτουσας οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας με έναν δίκαιο τρόπο και χωρίς να διακινδυνεύει την αειφορία ζωτικών οικοσυστημάτων (Snellen, 2004).

Η ιδέα για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων είχε διατυπωθεί από το 1992, στην τελική δήλωση των υπουργών στο Διεθνές Συνέδριο για το Νερό και το Περιβάλλον στο Δουβλίνο (Rahaman, 2005). Το ευρύτερο πλαίσιο που διέπει τη σύλληψη αυτή, στηρίζεται στις παρακάτω αρχές (GWP, 2000):

1. Κοινωνική ισότητα: διασφάλιση ίσης πρόσβασης σε όλους τους χρήστες, ιδίως τους φτωχότερους και περιθωριοποιημένους, στην ποσότητα και ποιότητα που απαιτείται για τη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας.
2. Οικονομική αποτελεσματικότητα: αξιοποίηση των διαθέσιμων υδατικών και οικονομικών πόρων για τη μέγιστη ωφέλεια στο μέγιστο δυνατό αριθμό χρηστών.
3. Οικολογική ισορροπία: τα φυσικά οικοσυστήματα αντιμετωπίζονται ως χρήστες και λαμβάνεται μέριμνα ώστε να παραμείνουν ενεργά.

Το 2002, το Διεθνές Φόρουμ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη στο Γιохάνεσμπουργκ, έθεσε στόχο κάθε χώρα του κόσμου να έχει ολοκληρώσει ως το 2005 το δικό της σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων (Clausen, 2004). Το 2015, οι υδατικοί πόροι εντάχθηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη στο θεσμό των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (UN, 2015). Στο μεταξύ, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Γεωργίας και Τροφίμων (FAO) το 2014 διακήρυξε το λεγόμενο δόγμα του πλέγματος (Nexus), σύμφωνα με το οποίο «νερό, τροφή και ενέργεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένα» και οποιαδήποτε μεταβολή στον ένα παράγοντα επιδρά και στους άλλους δύο (FAO, 2014). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ολοκληρωμένη Διαχείριση προβλέπεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για το νερό 2000/60 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2000).

Η σημαντικότερη όμως πρόκληση είναι η εφαρμογή αυτών των θεωρητικών αρχών με συγκεκριμένες επιχειρησιακές δράσεις. Δυστυχώς, πολλά χρόνια μετά την προθεσμία του Γιохάνεσμπουργκ, ο στόχος για πολλές χώρες παραμένει ακόμα ανεκπλήρωτος (Ibish, 2016).

Επιχειρησιακά, η Ολοκληρωμένη Διαχείριση περιλαμβάνει την εφαρμογή γνώσεων από διάφορες επιστημονικές ειδικότητες για τις ανάγκες ενός ευρέος φάσματος ωφελούμενων. Πρόκειται δηλαδή για ένα συμμετοχικό εργαλείο σχεδιασμού που στηρίζεται στη συντονισμένη δράση και για να λειτουργήσει σωστά πρέπει να συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις (Smith, 2014):

1. Ευνοϊκό περιβάλλον: πολιτικές, νόμοι και σχέδια που να προωθούν τους στόχους της ολοκληρωμένης διαχείρισης.
2. Σαφές, στιβαρό και περιεκτικό θεσμικό πλαίσιο αποκεντρωμένης διοίκησης σε επίπεδο λεκάνης απορροής.
3. Αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων τεχνικών και διοικητικών μέσων εκτίμησης, αξιολόγησης και ελέγχου ώστε οι αρμόδιοι για τη λήψη αποφάσεων να είναι επαρκώς ενημερωμένοι για την ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών αποθεμάτων
4. Αποφασιστικές επενδύσεις σε έργα υποδομής και επαρκής χρηματοδότηση για τη λειτουργία και τη συντήρησή τους.

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν μια συνεχής διεργασία, παρά σαν ένα στιγμιαίο έργο. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν τα σχετικά συστήματα υποδομών δεν είναι υπό μελέτη, αλλά υπάρχουν ήδη και λειτουργούν αναποτελεσματικά, οπότε οι διαχειριστικές παρεμβάσεις πρέπει να γίνονται χωρίς να διακοπεί ή να επιδεινωθεί η λειτουργία τους.

Από το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος διαχείρισης που να ταιριάζει σε όλες τις περιπτώσεις, η επιτυχία κρίνεται κυρίως από τον τρόπο επιλογής και προσαρμογής της κατάλληλης λύσης μιας και η τεχνική εφαρμογή της συνήθως είναι πια τυποποιημένη.

2.1.2 Έργα ύδρευσης και η πίεση τους στο γεωπεριβάλλον

Τα έργα ύδρευσης κάνουν απόληψη ύδατος από διάφορες πηγές και μετά την κατάλληλη επεξεργασία το διανέμουν στους χρήστες. Οι πηγές περιλαμβάνουν τους υπόγειους υδροφορείς, τα επιφανειακά ύδατα (λίμνες και υδατορρεύματα) και σε ορισμένες περιπτώσεις τη θάλασσα (συστήματα αφαλάτωσης). Η επεξεργασία περιλαμβάνει συνήθως καθίζηση, διύλιση και απολύμανση. Στη συνέχεια το νερό προσφέρεται στο δίκτυο ύδρευσης για να χρησιμοποιηθεί.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, μια τυπική οικογένεια καταναλώνει περίπου 520 L νερό την ημέρα και αυτά αντιστοιχούν σε 222 L κατά κεφαλήν (DeOreo, 2016). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το αντίστοιχο μέγεθος είναι 144 L ανά άτομο την ημέρα (ΕΕΑ, 2014).

Για την εξασφάλιση των παραπάνω ποσοτήτων τα υδροσυστήματα από τα οποία γίνονται οι απολήψεις δέχονται σημαντική πίεση. Η πρώτη μορφή πίεσης είναι η

μορφολογική αλλοίωση από τα έργα υδροληψίας. Φράγματα, ροοφράκτες, διευθετήσεις, αναχώματα, διώρυγες προσαγωγής, έργα σταθεροποίησης και εγκιβωτισμού, προκαλούν διακοπή της συνέχειας των ποταμών και των υγροτόπων και αλλάζουν το καθεστώς ροής (ΦΕΚ2292Β', 2013).

Η κατ' εξοχήν πίεση βέβαια είναι η μείωση της παροχής. Για την αξιολόγησή της λαμβάνεται υπόψη η ετήσια και η θερινή φυσικοποιημένη απορροή, στο σημείο του έργου (ΦΕΚ1004Β, 2013). Φυσικοποιημένη απορροή είναι αυτή που θα είχαμε αν δεν μεσολαβούσε το έργο (Κουτσογιάννης, 2001). Σε υφιστάμενα έργα η φυσικοποιημένη απορροή εκτιμάται από την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου στο σημείο της απόληψης, εφόσον οι υπόλοιπες μεταβλητές (μεταβολή αποθέματος, εκροές, βροχόπτωση, εξάτμιση, υπόγειες διαφυγές) είναι γνωστές από μετρήσεις ή εκτιμήσεις (Ευστρατιάδης, 2015).

Η μέση φυσικοποιημένη απορροή για την περίοδο Ιουνίου – Σεπτεμβρίου υπολογίζεται βάσει του συντελεστή θερινής απορροής του υδροσυστήματος (ΦΕΚ1004Β, 2013). Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται από το λόγο του αθροίσματος των θερινών μηνιαίων τιμών από διαθέσιμες μετρήσεις παροχής σε αξιόπιστους υδρομετρικούς σταθμούς προς την τιμή της ετήσιας φυσικοποιημένης απορροής.

Για την εκτίμηση της έντασης της πίεσης μιας απόληψης υπολογίζονται

- Ο ποσοστιαίος λόγος του ετήσιου όγκου απολήψεων προς τη μέση ετήσια φυσικοποιημένη απορροή και
- Ο ποσοστιαίος λόγος του θερινού όγκου απολήψεων προς τη μέση θερινή φυσικοποιημένη απορροή.

Λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή της ετήσιας και θερινής παροχής των ποταμών από μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης και μετρήσεις υδρομετρικών σταθμών, έχουν προκύψει κριτήρια ποιοτικού χαρακτηρισμού της έντασης της πίεσης των απολήψεων (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Ποιοτικός χαρακτηρισμός έντασης πίεσης απολήψεων (ΦΕΚ1004Β, 2013).

Ένταση Απόληψης	Qετ.απ. (%)	Qθερ.απ. (%)
Αμελητέα	Qετ.απ.<25%	Qθερ.απ.<20%
Χαμηλή	25%<Qετ.απ.<50%	20%<Qθερ.απ.<35%
Μέτρια	50%<Qετ.απ.<75%	35%<Qθερ.απ.<50%

Για πιο αξιόπιστη αξιολόγηση χρησιμοποιούνται και άλλα κριτήρια, όπως το βάθος και η ταχύτητα ροής. Τα κριτήρια αυτά προκύπτουν από τις ανάγκες των ψαριών κάθε συστήματος και την πιθανή επίδραση των ποσοτικών χαρακτηριστικών σε ποιοτικές παραμέτρους, όπως θερμοκρασία, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου,

αιωρούμενων στερεών και θρεπτικών. Μια αδυναμία της αξιολόγησης είναι ότι συνήθως δεν υπάρχει γνώση ως προς την επίδραση των πλημμυρών, της ξηρασίας και της διακύμανσης της ροής στα οικοσυστήματα. Η γνώση αυτή είναι σημαντική ιδίως σε περιοχές που λόγω του κλίματος (πχ Μεσογειακές χώρες), οι μηνιαίες διακυμάνσεις παροχών των ποταμών είναι πολύ μεγάλες. Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν δημιουργηθεί υδροδυναμικά μοντέλα που ενσωματώνουν εργαλεία προσομοίωσης των ποιοτικών παραμέτρων, συνδυάζοντας όμως απαραίτητα δεδομένα πεδίου (Παπαδάκη, 2018).

Απολήψεις γίνονται και από υπόγειους υδροφορείς. Αυτοί διακρίνονται σε καρστικούς και προσχωματικούς και ρωγματώδεις:

- Καρστικά συστήματα υπογείων υδάτων: στα συστήματα αυτά η κυκλοφορία του υπογείου ύδατος γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους που προέρχεται κυρίως από τη διάλυση ανθρακικών σχηματισμών.
- Κοκκώδη συστήματα υπογείων υδάτων: στα συστήματα αυτά η κυκλοφορία του υπογείου ύδατος γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους. Εδώ ανήκουν οι υδροφορίες που φιλοξενούνται στις σύγχρονες και νεογενείς αποθέσεις.
- Ρωγματώδη συστήματα υπογείων υδάτων: στα συστήματα αυτά η κυκλοφορία του υπογείου ύδατος γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους (ρωγμές, διακλάσεις, τεκτονισμένες ζώνες). Περιλαμβάνονται οι ασθενείς υπόγειες υδροφορίες τοπικού χαρακτήρα που φιλοξενούνται στο μανδύα αποσάθρωσης και στις ζώνες τεκτονισμού των στρωμάτων του φλύσχη, των φυλλιτών χαλαζιτών, των σχιστολίθων και άλλων στρωμάτων.

Η απόληψη γίνεται με υδρομαστεύσεις πηγών ή αντλήσεις. Στους παράκτιους υδροφορείς η υπεράντληση οδηγεί τις περισσότερες φορές σε υφαλμύριση των υδροφορέων λόγω της διείσδυσης θαλάσσιου ύδατος, εκτός αν υπάρχει αδιαπέρατος γεωλογικός φραγμός που εμποδίζει τη διείσδυσή του. Στους υδροφορείς μακριά από τη θάλασσα, η υπεράντληση έχει ως συνέπεια τη μείωση της στάθμης στα επιφανειακά σώματα με τα οποία ο υδροφορέας συγκοινωνεί. Έτσι

Όσον αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης, εκεί η πίεση ασκείται στο θαλάσσιο υδροσύστημα και συνίσταται στην απόρριψη άλμης υψηλής συγκέντρωσης που αυξάνει τοπικά την αλατότητα των υδάτων.

2.1.3 Έργα Αποχέτευσης και η πίεση τους στο γεωπεριβάλλον

Μόλις το νερό των απολήψεων χρησιμοποιηθεί, απορρίπτεται ξανά στο περιβάλλον μέσα από συστήματα αποχέτευσης. Πλέον όμως είναι επιβαρυνμένο με διάφορους ρύπους, οπότε η διαδικασία αυτή αντί να ανακουφίζει τις πιέσεις που δημιούργησαν

οι απολήψεις στα υδροσυστήματα, προσθέτει νέες, στα ίδια ή σε άλλα. Οι πιέσεις μπορεί να είναι σημειακές ή διάχυτες (EPA, 1948). Παράδειγμα σημειακής πίεσης είναι η απόληξη ενός οχετού και διάχυτης μια ομάδα απορροφητικών βόθρων σε περιοχή χωρίς κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο.

Οι ρύποι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την προέλευση τους και τις επιπτώσεις που προκαλούν στα υδατικά συστήματα. Μια πρώτη κατηγορία αποτελούν οι συνήθεις (συμβατικοί) ρύποι, όπως είναι το οργανικό φορτίο, τα αμμωνιακά, τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα, τα αιωρούμενα στερεά, τα νιτρικά ιόντα και η αμμωνία. Μια δεύτερη κατηγορία αποτελούν οι τοξικές ουσίες (βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα, βιοκτόνα) και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί (ΦΕΚ1004B, 2013). Μια σειρά μη συμβατικών ρύπων (Ουσίες Προτεραιότητας και Ειδικό ρύποι) για τα επιφανειακά υδροσυστήματα καθορίζονται στα Παραρτήματα I και II της ΚΥΑ 51354/8-12-2010 (ΦΕΚ1909B', 2010) «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας», ενώ για τα υπόγεια υδροσυστήματα στην ΚΥΑ 39626/2208/Ε130/2009 (ΦΕΚ2075/Β', 2009).

Σε μια πόλη, η πρώτη κατηγορία ρύπων προέρχεται κυρίως από τα οικιακά λύματα. Η δεύτερη κατηγορία ρύπων προέρχεται κυρίως από τη βιομηχανική δραστηριότητα και την ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων (ΦΕΚ1004B, 2013).

Όλοι οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί που εκτίθενται στη ρύπανση των υδάτων δέχονται πιέσεις και οι πιο ευαίσθητοι απειλούνται και με εξαφάνιση. Κίνδυνο διατρέχει και ο άνθρωπος, όταν κολυμπάει ή καταναλώνει νερό, αγροτικά προϊόντα και ψάρια από πηγές που περιέχουν με ρύπους. Η κυριότερη αιτία ασθενειών και θανάτου στον κόσμο, οφείλεται κι αυτή στη ρύπανση των υδάτων με παθογόνους μικροοργανισμούς (Griffiths, 2008).

Στα επιφανειακά ύδατα, η πιο σημαντική επίπτωση της ρύπανσης είναι η εξάντληση του διαλυμένου Οξυγόνου εξ αιτίας της προσθήκης οργανικού φορτίου (CENR, 2000). Το οργανικό αυτό φορτίο αποτελεί τροφή για τους μικροοργανισμούς που ζουν στα επιφανειακά ύδατα. Επειδή υπό φυσιολογικές συνθήκες τα ύδατα αυτά έχουν καλή οξυγόνωση, φιλοξενούν αερόβιους μικροοργανισμούς, οι οποίοι τρέφονται με την οργανική ουσία που παράγεται στο οικοσύστημα. Για το μεταβολισμό αυτής της ουσίας καταναλώνουν Οξυγόνο που είναι διαλυμένο στο νερό. Οι πληθυσμοί των μικροοργανισμών τείνουν να ακολουθούν τη διαθεσιμότητα οργανικής ουσίας και ανάλογη είναι και η ζήτηση Οξυγόνου. Σε συνθήκες ισορροπίας, η παραγωγή της οργανικής ουσίας είναι μικρή και το Οξυγόνο που καταναλώνεται για την οξείδωσή της αναπληρώνεται υδροδυναμικά ή μέσω της υδρόβιας φωτοσύνθεσης. Η προσθήκη οργανικού φορτίου αυξάνει τη ζήτηση Οξυγόνου και από ένα σημείο και πάνω ο ρυθμός κατανάλωσης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αναπλήρωσης. Αν το διαλυμένο Οξυγόνο μειωθεί σημαντικά, τα ψάρια και τα άλλα ζώα που αναπνέουν μέσα από το νερό πεθαίνουν (Goldman, 1983).

Η φυσιολογική συγκέντρωση Οξυγόνου στο νερό είναι 7 mg/L (ή ppm), με ορισμένες διακυμάνσεις ανάλογα με τις βιοχημικές και υδροδυναμικές συνθήκες και το βάθος. Συνθήκες υποξίας έχουμε σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 2 mg/L (Rounds, 2013).

Άλλη δυσμενής επίπτωση για τα επιφανειακά υδροσυστήματα είναι ο ευτροφισμός. Ευτροφισμός, είναι η κατάσταση που δημιουργείται στα επιφανειακά υδροσυστήματα που δέχονται υπερβολικές εισροές θρεπτικών ουσιών, συνήθως αζώτου ή φωσφόρου (Schindler, 2004). Η υπερπροσφορά θρεπτικών, διεγείρει την ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών μικροοργανισμών όπως άλγη και φυτοπλαγκτόν (Charin, 2011). Καθώς η φυτική βιομάζα αυξάνεται, αυξάνονται και τα νεκρά υπολείμμάτα της που γίνονται τροφή αερόβιων βακτηρίων, τα οποία καταναλώνουν το διαθέσιμο οξυγόνο, στερώντας το από όλες τις άλλες μορφές ζωής. Η ευαισθησία στον ευτροφισμό είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των οργανισμών, με πρώτα θύματα να είναι τα ψάρια. Τα υγρά απόβλητα είναι πλούσια σε θρεπτικούς ρύπους, όπως επίσης και οι απορροές των καλλιεργούμενων εδαφών.

Τα βήματα στην πρόοδο του ευτροφισμού συνοψίζονται στον παρακάτω κατάλογο:

- 1 Τα θρεπτικά βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις και αποτελούν περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης των αυτότροφων μικροοργανισμών.
- 2 Προσθήκη θρεπτικών οδηγεί σε υπερβολική ανάπτυξη τους.
- 3 Επικράτηση ορισμένων ειδών που δεν είναι φαγώσιμα ώστε να περιορίζονται.
- 4 Διαταραχή τροφικής αλυσίδας, μείωση φωτισμού μέσα στο νερό.
- 5 Αύξηση βιομάζας και περίσσεια οργανικής ουσίας (ευτροφισμός), μείωση διαθέσιμου οξυγόνου (υποξία), παραγωγή τοξινών, εξαφάνιση ψαριών.
- 6 Δημιουργείται πλεόνασμα θρεπτικών και αυξάνεται η συγκέντρωση στο υδατικό διάλυμα που στο μεταξύ καταναλώνεται από τα ζώα και τον άνθρωπο. Μεγάλη συγκέντρωση νιτρικών προκαλεί την ασθένεια των μπλε μωρών. Τα νιτρικά αντιδρούν επίσης και με το χλώριο της απολύμανσης παράγοντας τοξικά παραπροϊόντα. Η απόληψη πόσιμου ύδατος είναι πλέον αδύνατη.
- 7 Επικράτηση αναερόβιων συνθηκών, με έκλυση δυσοσμίας και δημιουργία τοξικών ενώσεων. Νέκρωση της υδατικής βιοκοινωνίας και αισθητική υποβάθμιση του υδάτινου όγκου.

Η αναλογία των αναγκών του φυτοπλαγκτόν σε Άνθρακα, Άζωτο και Φώσφορο ονομάζεται Redfield Ratio και ισούται με 106:16:1 (Redfield, 1934). Στα εσωτερικά ύδατα (ποτάμια, λίμνες) ο ευτροφισμός εξαρτάται από την τροφοδοσία σε Φώσφορο, ενώ στα θαλάσσια από την τροφοδοσία σε Άζωτο (Τσώνης, 2004). Αυτό έχει τις εξής εξηγήσεις:

1. Στα εσωτερικά ύδατα, η ύπαρξη κυανοβακτηρίων εξασφαλίζει επαρκή τροφοδοσία σε Άζωτο, μιας και αυτά τα βακτήρια δεσμεύουν ατμοσφαιρικό Άζωτο παράγοντας αζωτούχες ενώσεις. Τα κυανοβακτήρια δεν ζουν σε θαλάσσιο περιβάλλον.

2. Στο θαλάσσιο περιβάλλον υπάρχει ανάμιξη με μεγάλους όγκους απονιτροποιημένου ύδατος. Η απονιτροποίηση είναι βιοχημική διεργασία αντίθετη της αζωτοδέσμευσης και απελευθερώνει Άζωτο στην ατμόσφαιρα.
3. Ο ανθρώπινος πληθυσμός είναι συγκεντρωμένος σε παραθαλάσσιες περιοχές και διαθέτει τα απόβλητά του κυρίως στη θάλασσα και λιγότερο σε εσωτερικά ύδατα. Τα αστικά απόβλητα έχουν γενικά χαμηλό δείκτη N/P, αντίθετα τα εσωτερικά ύδατα δέχονται κυρίως αζωτούχα θρεπτικά από τις καλλιέργειες.
4. Ο Φώσφορος στα εσωτερικά ύδατα προσροφάται σε αιωρούμενα στερεά που είτε καθιζάνουν στον πυθμένα και μένουν αδρανή, είτε μεταφέρονται προς τα κατάντη. Όταν όμως φτάσουν στα αυξημένης αλατότητας θαλάσσια περιβάλλοντα, ο Φώσφορος απελευθερώνεται ξανά.
5. Ο Φώσφορος που περιέχεται στη νεκρή οργανική ύλη των θαλασσών, διαλυτοποιείται άμεσα και είναι και πάλι διαθέσιμος. Έτσι, ενώ το Άζωτο διαρκώς χάνεται με την απονιτροποίηση, ο συσσωρευόμενος Φώσφορος αντί να καταναλώνεται παραμένει συνεχώς διαθέσιμος σε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες.
6. Η πρόοδος του ευτροφισμού στις θάλασσες αυξάνει την κινητικότητα του Φωσφόρου και η τυχόν έλλειψη Αζώτου γίνεται εντονότερη.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο έλεγχος του ευτροφισμού στα εσωτερικά υδροσυστήματα επιτυγχάνεται ελέγχοντας κυρίως τις απορρίψεις Φωσφόρου, ενώ στα θαλάσσια τις απορρίψεις Αζώτου. Βέβαια, επειδή οι συνθήκες ποικίλουν χρειάζεται πιο εξειδικευμένος και συνδυαστικός σχεδιασμός και για τους δύο ρύπους ταυτόχρονα (Howarth, 2006).

Όσον αφορά στα υπόγεια υδατικά συστήματα, οι αστικοί ρύποι που εισέρχονται σε αυτά επηρεάζουν τη χημική τους κατάσταση, καθιστώντας τα ακατάλληλα για χρήση από τον άνθρωπο και επικίνδυνα για τα οικοσυστήματα που συγκοινωνούν με αυτά. Βασική πηγή ρύπανσης είναι οι διαρροές των αποχετευτικών δικτύων αλλά και οι απορροφητικοί βόθροι σε οικισμούς που δεν διαθέτουν αποχετευτικό δίκτυο. Υπάρχουν και οι περιπτώσεις που το έδαφος χρησιμοποιείται σαν κανονικός αποδέκτης υγρών αποβλήτων ή παραγώγων αυτών (προϊόντα λύου) και τότε η ρύπανση των υπογείων υδάτων αποκτά συστηματική μορφή.

Η κίνηση των λυμάτων μέσα στα υπόγεια ύδατα γίνεται με τη μορφή φλεβών. Η κίνηση της φλέβας παράλληλα με τη διασπορά απλώνει το ρύπο σε μια ευρύτερη περιοχή. Διάφοροι μηχανισμοί επηρεάζουν τη μεταφορά των ρύπων, όπως διάχυση, προσρόφηση και αποσύνθεση. Το μέτωπο προώθησης όταν συναντά γεωτρήσεις ή εκτονώνεται στην επιφάνεια, γίνεται επικίνδυνο για τον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα. Η ανάλυση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη μορφολογία και την υδρογεωλογία της περιοχής, μαζί με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ρύπων. Η μελέτη τέτοιων προβλημάτων γίνεται με μοντέλα μεταφοράς στην υπόγεια ροή.

Η ρύπανση των υδάτων ελέγχεται με φυσικές, χημικές και βιολογικές αναλύσεις δειγμάτων. Σύμφωνα με το Κατευθυντήριο Κείμενο 3 «Pressures and Impacts» της

Οδηγίας για τα Νερά (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2000), τα μεγέθη με τα οποία ποσοτικοποιούνται οι πιέσεις από τους συνήθεις ρύπους είναι το ολικό άζωτο (TN), ο ολικός φώσφορος (TP) και το οργανικό φορτίο (BOD5).

2.1.4 Συστήματα αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης των υδάτων απαιτεί την κατάλληλη υποδομή και σχέδια διαχείρισης. Η συλλογή, επεξεργασία και η διάθεση των αστικών λυμάτων όπως και συγκεκριμένων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων καθορίζονται από την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων» (ΦΕΚ192, 1997).

Η υποδομή περιλαμβάνει το αποχετευτικό δίκτυο που πρέπει να είναι στεγανό και όσο το δυνατόν ανεξάρτητο από τις επιφανειακές και υπόγειες ροές. Διαφορετικά δημιουργούνται δύο σοβαρά προβλήματα. Το πρώτο είναι η διαρροή ακάθαρτου ύδατος από διάφορα σημεία του δικτύου, που οδηγεί στη ρύπανση των εδαφών και των υδροφόρων. Το δεύτερο πρόβλημα είναι η εισροή βρόχινου, επιφανειακού ή υπόγειου ύδατος στο δίκτυο. Η εισροή αυτή αυξάνει τον τελικό όγκο λυμάτων μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας (EPA, 2014). Σε ακραίες συνθήκες όπως ραγδαίες βροχοπτώσεις, η υπερπλήρωση των αγωγών με όμβρια μπορεί να οδηγήσει σε απότομη απελευθέρωση του ακάθαρτου αυτού μίγματος σε αδύναμα σημεία του δικτύου με κίνδυνο της δημόσιας υγείας (EPA, 2004). Σε απομακρυσμένα κτίρια που δεν είναι εφικτή η σύνδεση με το αποχετευτικό δίκτυο, τα λύματα πρέπει να συλλέγονται σε στεγανές δεξαμενές και από εκεί να μεταφέρονται με βυτία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας (Τσώνης, 2004).

Το σπουδαιότερο κομμάτι ενός αποχετευτικού έργου (στον ανεπτυγμένο κόσμο) είναι η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. Η Επεξεργασία Λυμάτων είναι μια διαδικασία που αφαιρεί ρύπους από αυτά και παράγει μια εκροή που μπορεί να επανεισαχθεί στον υδρολογικό κύκλο με αποδεκτές επιπτώσεις στο περιβάλλον (WWAP, 2017). Στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, μέσω του αποχετευτικού δικτύου καταλήγουν τα απόβλητα των οικιών και όσων επιχειρήσεων έχουν σχετική άδεια (ΦΕΚ383B', 2006). Η άδεια δίνεται εφόσον τα απόβλητα αυτά είναι παρόμοιας σύστασης με τα οικιακά. Σε ορισμένες πόλεις είναι αποδεκτό τα εργοστάσια να απορρίπτουν και βιομηχανικά απόβλητα στο δημοτικό σύστημα αποχέτευσης. Επίσης, μπορεί να συμφωνηθεί με εταιρείες εκκένωσης βόθρων να αδειάζουν τα βυτία τους στην υποδοχή της εγκατάστασης. Όταν συμβαίνει αυτό, τότε ο ρόλος της "μονάδας επεξεργασίας λυμάτων" διευρύνεται σε "μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων" (Τσώνης, 2004). Αλλιώς, τα απόβλητα αυτά πρέπει οι επιχειρήσεις να τα διαχειρίζονται σε δική τους εγκατάσταση.

Μια τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει πρωτοβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση στερεών υλικών και δευτεροβάθμια επεξεργασία για την αφαίρεση διαλυτού υλικού, ενώ μια προχωρημένη εγκατάσταση

περιλαμβάνει επιπλέον στάδια τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την επίτευξη εκροής υψηλής καθαρότητας (Τσώνης, 2004).

Το οργανικό φορτίο που βρίσκεται σε διαλυμένη μορφή αφαιρείται με την καλλιέργεια αερόβιων μικροοργανισμών με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης. Υπάρχουν δύο συστήματα αερόβιας επεξεργασίας: τα συστήματα αιωρούμενης και τα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας (Τσώνης, 2004). Στα πρώτα η ανάπτυξη των μικροοργανισμών γίνεται μέσα σε δεξαμενές και στα δεύτερα μέσα σε φίλτρα.

Η πιο καινοτόμα και υποσχόμενη μέθοδος επεξεργασίας αυτή τη στιγμή είναι η τεχνολογία της κοκκώδους βιομάζας (Long, 2019). Η τεχνολογία αυτή αξιοποιεί την ιδιότητα των κυττάρων να προσκολλώνται μεταξύ τους υπό κατάλληλες συνθήκες (Tay, 2006). Για να επιτευχθούν οι συνθήκες αυτές, η δεξαμενή επεξεργασίας τροφοδοτείται με μεταβαλλόμενη παροχή, τόσο σε όγκο όσο και σε οργανικό φορτίο. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ένας διαχωρισμός των μικροοργανισμών σε αυτούς που καταφέρνουν να προσκολληθούν μεταξύ τους και σε αυτούς που δεν καταφέρνουν. Αυτοί που τα καταφέρνουν, δημιουργούν σταδιακά ένα συμπαγή κόκκο, στα διάφορα σημεία του οποίου επικρατούν ξεχωριστές συνθήκες, στην εξωτερική επιφάνεια αερόβιες και στην εσωτερική αναερόβιες. Αυτή η δομή επιτρέπει την ταυτόχρονη επίτευξη αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών, με αποτέλεσμα την επίτευξη πολλαπλών στόχων μέσα στην ίδια δεξαμενή και σε σύντομο χρόνο (Venugoralan, 2005). Η κοκκώδης αυτή μορφή, έχει πολύ καλά χαρακτηριστικά καθίζησης ώστε η τελική εκροή του συστήματος αυτού να είναι εξαιρετικά διαυγής. Αυτό σε συνδυασμό με την αντοχή σε υψηλή οργανική φόρτιση και τη δυνατότητα ταυτόχρονης αφαίρεσης άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου αποτελούν σημαντικά πλεονεκτήματα (Zhou, 2019). Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί και σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις, με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Το μειονέκτημά της είναι ότι σε συνθήκες χαμηλής οργανικής φόρτισης χρειάζεται αρκετός χρόνος ωρίμανσης της βιομάζας και η καλλιέργειά της είναι προς το παρόν δύσκολη (Czarnota, 2019).

Οι πιο σύνθετες εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν και διεργασίες αφαίρεσης θρεπτικών. Η αφαίρεση του Αζώτου επιτυγχάνεται με την καλλιέργεια απονιτροποιητικών βακτηρίων και η αφαίρεση του Φωσφόρου μέσω φωσφοροβακτηρίων (VonSperling, 2007). Το Άζωτο απομακρύνεται σαν αέριο, ενώ ο Φώσφορος σαν στερεό.

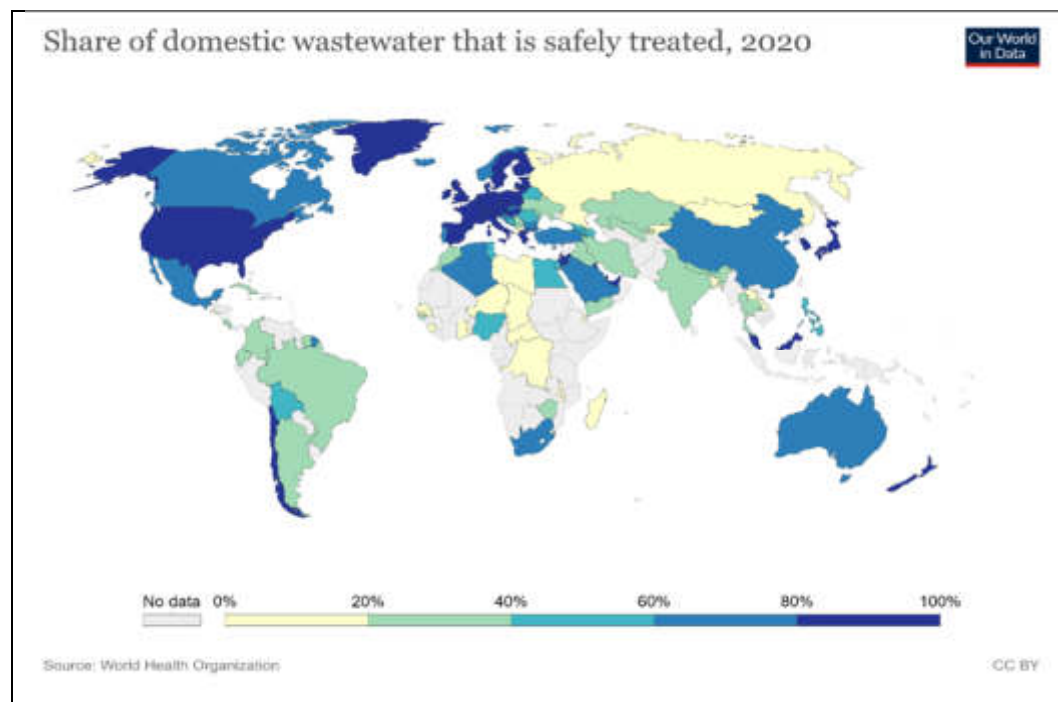
Η ιλύς που παράγεται στο πρωτοβάθμιο και το δευτεροβάθμιο στάδιο, οφείλει κι αυτή να υφίσταται επεξεργασία προκειμένου να καταστεί αβλαβής (Πασπαράκης, 2018). Η επεξεργασία της περιλαμβάνει πάχυνση, αναερόβια χώνευση, αφυδάτωση και ξήρανση.

Πριν τη διάθεση της επεξεργασμένης εκροής πρέπει να γίνει αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών. Η συμβατική απολύμανση γίνεται με χλωρίωση. Ωστόσο, νέες τεχνολογίες απολύμανσης, αντί χλωρίου εφαρμόζουν όζον ή υπερϊώδη ακτινοβολία (Τσώνης, 2004).

Για ακόμα καθαρότερες εκροές η παραδοσιακή ακολουθία συμπληρώνεται με ένα τρίτο στάδιο επεξεργασίας. Η τριτοβάθμια επεξεργασία εφαρμόζεται όλο και περισσότερο με τεχνολογίες όπως η μικροδιήθηση με χρήση ενεργού άνθρακα (EPA, 2004) και συνθετικών μεμβρανών. Τα επεξεργασμένα λύματα καθίστανται σχεδόν μη διακριτά από τα ύδατα φυσικής προέλευσης και θεωρητικά είναι ακόμα και πόσιμα (Warsinger, 2016).

Μια άλλη προσέγγιση για την επεξεργασία λυμάτων είναι οι λύσεις που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, τα λύματα διατίθενται απευθείας σε ειδικά επιλεγμένα ή προκατασκευασμένα υδροσυστήματα όπου παραμένουν μέχρι το ρυπαντικό φορτίο να αφομοιωθεί με φυσικό τρόπο. Για να μπορέσει να γίνει αυτό απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι παραμονής και αυτό προϋποθέτει μεγάλες και κατάλληλα διαμορφωμένες εκτάσεις. Δεν απαιτείται όμως μηχανολογικός εξοπλισμός, επίβλεψη και δαπάνη ενέργειας. Γι' αυτό τα συστήματα αυτά θεωρούνται φτηνές λύσεις, κατάλληλες για μικρές, επαρχιακές κοινότητες (Sperling, 2015). Ο σχεδιασμός αυτών των συστημάτων επικεντρώνεται στη διαρρύθμιση, το εδαφικό υπόστρωμα και τα κατάλληλα φυτικά είδη.

Παρά τη σημαντικότητα της Επεξεργασίας Λυμάτων, το 80% των αστικών λυμάτων παγκοσμίως διατίθεται στο περιβάλλον ανεπεξέργαστο (WWAP, 2017). Η μείωση αυτού του ποσοστού στο μισό μέχρι το 2030 αποτελεί τον υπ' αριθμόν 6.3 Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών. Ο στόχος αυτός αντιστοιχεί στο δείκτη 6.3.1, που ορίζεται ως το ποσοστό του ύδατος που απορρίπτεται σε κάθε κράτος με ασφάλεια (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Ποσοστό επεξεργασμένων οικιακών εκροών κάθε κράτους (Ritchie, 2021).

Στον παραπάνω χάρτη παρατηρούμε ότι αρκετά μεγάλα κράτη του κόσμου ακόμα δεν διαθέτουν συστήματα επεξεργασίας λυμάτων. Ελάχιστα είναι τα κράτη που επεξεργάζονται πάνω από το 80% των εκροών τους και σε αυτά δεν περιλαμβάνονται όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αλλά και σε κράτη που ανήκουν στην ανώτερη κλάση, όπως οι ΗΠΑ, το 44% του μήκους των υδατορρευμάτων, το 64% της επιφάνειας των λιμνών και το 30% των παράκτιων επιφανειών χαρακτηρίζονται υποβαθμισμένα (EPA, 2009). Στις αναπτυσσόμενες χώρες εκτός του ότι δεν γίνεται επεξεργασία λυμάτων, συχνά δεν υπάρχει ούτε και αποχετευτικό δίκτυο. Η θλιβερή εικόνα που επικρατεί διεθνώς μεταφράζεται και σε θανάτους, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες: για το 2015 είχαμε 1.8 εκατομμύρια θανάτους από ασθένειες του πεπτικού συστήματος και παρασιτικές μολύνσεις (Kelland, 2017).

2.1.5 Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων

Τα αστικά λύματα γενικώς θεωρούνται άχρηστα και επιβλαβή παραπροϊόντα του ανθρώπινου πολιτισμού. Έχει όμως εκτιμηθεί ότι το νερό των αστικών λυμάτων αντιστοιχεί στο 15% των παγκόσμιων αρδευτικών αναγκών και στο 25% του απαιτούμενου αζώτου των λιπασμάτων (Andersson, 2016). Στο πλαίσιο της Ατζέντας του 2030, η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μπορεί να αποτελέσει ισχυρό κίνητρο για την επίτευξη του στόχου της επεξεργασίας συνεισφέροντας παράλληλα και στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας.

Ήδη, χώρες στη Μέση Ανατολή (Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Κουβέιτ και Κατάρ) επαναχρησιμοποιούν πάνω από το 80% των λυμάτων τους (Jones, 2021). Η επαναχρησιμοποίηση όμως δεν απαντάται μόνο σε περιοχές με ξηρό κλίμα, αλλά έχει αναπτυχθεί και οπουδήποτε η υψηλή ζήτηση υπηρεσιών ύδρευσης – αποχέτευσης δικαιολογεί τη χρήση της.

Οι σύγχρονες μεγαλουπόλεις είναι πιθανόν να αντιμετωπίσουν λειψυδρία ακόμα και σε υγρά κλίματα, ιδίως όταν ληφθεί υπόψη και η μεγάλη ρύπανση που δημιουργούν στις κοντινές πηγές ύδατος (Karavitis, 2014). Στις περιπτώσεις αυτές η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αποδειχθεί οικονομικά πιο συμφέρουσα από τη συμβατική απόληψη ύδατος και επίσης πιο αξιόπιστη (Mosher, 2015). Καταλυτικός παράγοντας είναι η διαθεσιμότητα τεχνολογίας αλλά και η κατάλληλη παιδεία. Έτσι, δεν είναι τυχαίο που η χώρα με τις περισσότερες μονάδες επαναχρησιμοποίησης είναι η Ιαπωνία, με 1800 τέτοιες μονάδες. Ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες με 1600 μονάδες, η Αυστραλία με 450 και η Ευρωπαϊκή Ένωση με 230 (Burgess, 2015). Μέσα από αυτές τις προσπάθειες έχει αναδειχθεί ένα αξιοσημείωτο φάσμα εφαρμογών ανακτημένου ύδατος (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Εφαρμογές ανακτημένου ύδατος (Sanz, 2014)

Τομέας	Χρήση
Αστικός	Άρδευση δημόσιων πάρκων, αθλητικών εγκαταστάσεων, παρόδιου πρασίνου και ιδιωτικών κήπων. Πλύσιμο οδών, οχημάτων και κατάβρεγμα της σκόνης. Ξέπλυμα τουαλέτας. Πυρόσβεση. Ψυκτικό μέσο κλιματισμού.
Γεωργικός	Επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα τρόφιμα. Άρδευση βοσκοτόπων. Παραγωγή ζωοτροφών και κλωστικών φυτών. Σποροπαραγωγή. Ανθοκομία. Δενδροκομία. Υδροπονία. Ιχθυοκαλλιέργεια. Θερμοκήπια. Αμπελώνες.
Βιομηχανικός	Διαλυτικό, ψυκτικό και πλυστικό μέσο. Ανάμιξη σκυροδέματος.
Ψυχαγωγικός	Άρδευση γηπέδων γκολφ. Πλήρωση επισκέψιμων (για ψάρεμα, κολύμβηση ή με βάρκα) και μη επισκέψιμων (αισθητικών) λιμνών. Τεχνητό χιόνι.
Περιβαλλοντικός	Εμπλουτισμός υδροφόρων, υγροτόπων και υδατορρευμάτων. Δασοκομία.
Υδρευση	Εμπλουτισμός υδροφόρων και ταμιευτήρων πόσιμου ύδατος. Επίτευξη πόσιμης ποιότητας με επεξεργασία.

Εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση συναντάμε και στις αναπτυσσόμενες χώρες, εκεί όμως γίνεται συνήθως ανεπίσημα, χωρίς να προηγείται επεξεργασία και αποτελεί μάλλον στοιχείο εξαθλίωσης και όχι προόδου (EPA, Guidelines for Water Reuse, 2012). Η ανάγκη που οδηγεί τους ανθρώπους να καταφεύγουν στην επαναχρησιμοποίηση ανεπεξέργαστων αποβλήτων είναι και επισιτιστική. Λόγω του τεράστιου μεγέθους των πόλεων, όσο μακριά απέχουν από την πόλη οι υδροληψίες πόσιμου ύδατος, τόσο ή και περισσότερο απέχουν και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, με αποτέλεσμα το υψηλό κόστος τροφοδοσίας. Οι ακάθαρτες λυψόν εκροές χρησιμοποιούνται για την άρδευση μικρών κήπων εντός του αστικού ιστού, για την κάλυψη οικιακών αναγκών και για ένα μικρό εισόδημα, μιας και τα κηπευτικά, ιδίως τα φρέσκα σε μια μεγάλη πόλη είναι περιζήτητα. Η ύπαρξη οργανικής ουσίας και θρεπτικών στις εκροές από τους καλλιεργητές είναι αποδεκτή γιατί έτσι δεν χρειάζονται και λιπάσματα. Η ιδέα βρίσκεται προς την πλευρά της βιώσιμης ανάπτυξης, όμως όταν πραγματοποιείται ανεξέλεγκτα είναι επικίνδυνη. Στην προσπάθεια να υπάρξει μια πρόταση που να βρίσκεται εντός πραγματικότητας, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει θεσπίσει πρωτόκολλα με κανόνες επαναχρησιμοποίησης, κατάλληλους για τέτοιες περιπτώσεις (WHO, 2006).

Στη χώρα μας επαναχρησιμοποίηση του συνόλου της εκροής γίνεται μόνο σε δύο εγκαταστάσεις στην Κρήτη (Χερσόνησος και Μάλια). Σε άλλες πέντε μικρές εγκαταστάσεις (Ανώγεια, Αρχάνες, Κάρυστος, Κόλινδρος και Φούρκα) επαναχρησιμοποιείται περίπου το 60%. Σε άλλες είκοσι εγκαταστάσεις γίνεται επαναχρησιμοποίηση της τάξης του 1% κι αυτή αφορά εσωτερικές ανάγκες της

εγκατάστασης (πλύσιμο, άρδευση πρασίνου) και πιθανόν κάποιες πιλοτικές εφαρμογές (ΥΠΕΚΑ, 2019). Οι λόγοι που δεν γίνεται πιο εκτεταμένη εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης είναι:

1. Η επάρκεια συμβατικών υδατικών πόρων
2. Η δυσπιστία στην επιστήμη και τους θεσμούς
3. Η γενικότερη αδιαφορία στην περιβαλλοντική συμμόρφωση
4. Η προκατάληψη απέναντι στην ιδέα της επαναχρησιμοποίησης
5. Ο κίνδυνος συσσώρευσης ρύπων, ιδίως νιτρικών στο περιβάλλον

Σχετικά με την ωφέλεια της επαναχρησιμοποίησης στη θρέψη των φυτών, παρόλο που όπως αναφέρθηκε μπορεί να καλύψει μέρος των παγκόσμιων αναγκών σε λιπάσματα, υπάρχει προβληματισμός για το αν στην πράξη αυτό είναι εφικτό. Ο πρώτος προβληματισμός είναι ότι οι καλλιέργειες δεν χρειάζονται ομοιόμορφη τροφοδοσία θρεπτικών αλλά μεταβλητή, ανάλογα με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης, διαφορετικά μπορεί να έχουμε ανεπιθύμητες συνέπειες όπως υπερβολική βλάστηση και οψίμιση της παραγωγής (Πανώρας, 1999). Ο δεύτερος προβληματισμός είναι ότι η συστηματική εφαρμογή θρεπτικών μέσω της άρδευσης θα έχει σίγουρο αποτέλεσμα τη διαφυγή μέρους αυτών σε ένα ήδη επιβαρυσμένο περιβάλλον. Έτσι προς το παρόν, η θρεπτική αξία των λυμάτων αγνοείται και οι σχετικές ουσίες θεωρούνται ρύποι που πρέπει να αφαιρεθούν πριν την επαναχρησιμοποίηση (ΥΠΕΚΑ, 2019). Μάλιστα ο προβληματισμός είναι τόσο μεγάλος που αγγίζει τη γενική αμφισβήτηση της ιδέας της επαναχρησιμοποίησης στη χώρα μας.

2.1.6 Επιλογή μεθόδου διαχείρισης υγρών αστικών αποβλήτων

Η επιλογή μεθόδου διαχείρισης των υγρών αστικών αποβλήτων είναι μια σημαντική απόφαση στο αρχικό στάδιο της μελέτης ενός αποχετευτικού συστήματος. Απαιτεί τη γνώση της εξυπηρετούμενης περιοχής και τις πηγές των αποβλήτων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους και επηρεάζεται από μια σειρά μη τεχνικών παραμέτρων όπως κανονιστικές διατάξεις, νομικά ζητήματα και την κοινή γνώμη. Το αποτέλεσμα της επιλογής είναι μια σύνθεση στοιχείων που μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν τις θέσεις των εγκαταστάσεων, τους αγωγούς μεταφοράς, τις διεργασίες επεξεργασίας και τους τρόπους επαναχρησιμοποίησης των εκροών και των στερεών υπολειμμάτων.

Οι παραπάνω σχεδιαστικές επιλογές οφείλουν να είναι επαρκείς για μια διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20 ετών (Qasim, 1999). Κατά τη διάρκεια αυτών των ετών υλικά και τεχνολογίες μπορεί να αποσυρθούν, νέοι νόμοι και κανονισμοί να επιβληθούν και οι οικονομικές συνθήκες να αλλάξουν. Μπορούν βεβαίως να αλλάξουν και οι παροχές και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Οι μελετητές πρέπει να αναμένουν αυτά τα

ενδεχόμενα και να προκρίνουν λύσεις ευέλικτες και ευπροσάρμοστες σε νέα δεδομένα.

Ο γενικός βαθμός απόδοσης ενός συστήματος είναι αποτέλεσμα του καλού συνδυασμού των επιμέρους στοιχείων του. Μια ατυχής επιλογή μπορεί να οδηγήσει στο να μην επιτυγχάνεται τελικά ο εκάστοτε στόχος επεξεργασίας, η λειτουργία της εγκατάστασης να είναι αντιοικονομική ή να υπάρχουν αντιδράσεις για τις μεθόδους που εφαρμόζονται. Οι μελετητές πρέπει να γνωρίζουν τις διάφορες αλληλεπιδράσεις για να αποφύγουν τα προβλήματα, τόσο σε κανονικές όσο και σε αντίξοες συνθήκες λειτουργίας.

Τα συστήματα επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο ώστε τα χαρακτηριστικά της εκροής και οι στόχοι της επαναχρησιμοποίησης να επιτυγχάνονται με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Ο σχεδιασμός πρέπει να καλύπτει τις εποχιακές διακυμάνσεις και τις μακροπρόθεσμες μεταβολές των χαρακτηριστικών εισόδου. Πρέπει επίσης να είναι ανθεκτικός σε κρίσιμες συνθήκες λειτουργίας, όπως η βλάβη τμημάτων της εγκατάστασης.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων θα πρέπει να αποτρέπει μια σειρά από δυσμενή φαινόμενα όπως η αισθητική υποβάθμιση, η όχληση και οι δυσάρεστες οσμές στους χώρους επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης, η βλάβη στους πληθυσμούς των ψαριών, των οστράκων και των υδρόβιων οργανισμών και η κάθε είδους φυσική, χημική και βιολογική ρύπανση των υδάτινων αποθεμάτων.

Ο ιδανικός σχεδιασμός προβλέπει την επαναχρησιμοποίηση του ύδατος και των στερεών υπολειμμάτων της επεξεργασίας, αλλά η κατανάλωση προϊόντων που αρδεύτηκαν με ανεπαρκώς επεξεργασμένες εκροές μπορεί να διασπείρει μολυσματικές ασθένειες. Η ελλιπής αφαίρεση θρεπτικών με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό.

Αποτυχία στην κάλυψη των ποιοτικών προδιαγραφών οδηγεί σε απομείωση των φυσικών αποθεμάτων του πόσιμου και του αρδευτικού ύδατος, όπως επίσης και των υδάτινων επιφανειών που είναι κατάλληλες για αναψυχή. Η ανεπάρκεια ύδατος σε συνδυασμό με την αισθητική υποβάθμιση οδηγούν σταδιακά σε παρακμή η οποία αποτυπώνεται στην πτώση της αξίας των ακινήτων και στον περιορισμό της ανάπτυξης.

Πέραν του θεωρητικού υπολογισμού των εγκαταστάσεων συχνά χρειάζεται να γίνουν εργαστηριακές και πλοηγικές δοκιμές για τη συγκέντρωση επιπλέον πληροφοριών και πραγματικών δεδομένων πεδίου. Εκτός όμως από τον τεχνικό και οικονομικό, στο σχεδιασμό υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, όπως οι χρήσεις γης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και η άποψη της κοινής γνώμης, παράγοντες που δεν είναι άμεσα μετρήσιμοι με οικονομικά και τεχνικά κριτήρια.

Οι παραπάνω απαιτήσεις οδηγούν στην ανάγκη συνδυασμού γνώσεων πολλών ειδικοτήτων: μηχανικοί, αρχιτέκτονες, χημικοί, μικροβιολόγοι, γεωλόγοι και οικονομολόγοι καλούνται να ενώσουν τις δυνάμεις τους για την επιλογή της

καλύτερης λύσης. Εκτός πάντως από τη γνώση των επιστημόνων στην ειδικότητά τους απαιτείται και ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης των προβλημάτων και των προτεινόμενων λύσεων (Stathatou, 2016).

2.2 Προμελέτη σκοπιμότητας

Η μελέτη που συγκρίνει μεταξύ τους τα διάφορα εναλλακτικά σενάρια επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, είναι μια προμελέτη σκοπιμότητας. Η διαφορά μιας προμελέτης σκοπιμότητας (pre-feasibility assessment) και της μελέτης σκοπιμότητας (feasibility assessment) είναι ότι η προμελέτη συγκρίνει εναλλακτικά σενάρια μεταξύ τους και επιλέγει το βέλτιστο, ενώ η μελέτη εξετάζει ένα συγκεκριμένο σενάριο που είτε εγκρίνεται είτε απορρίπτεται (Rifka, 2018).

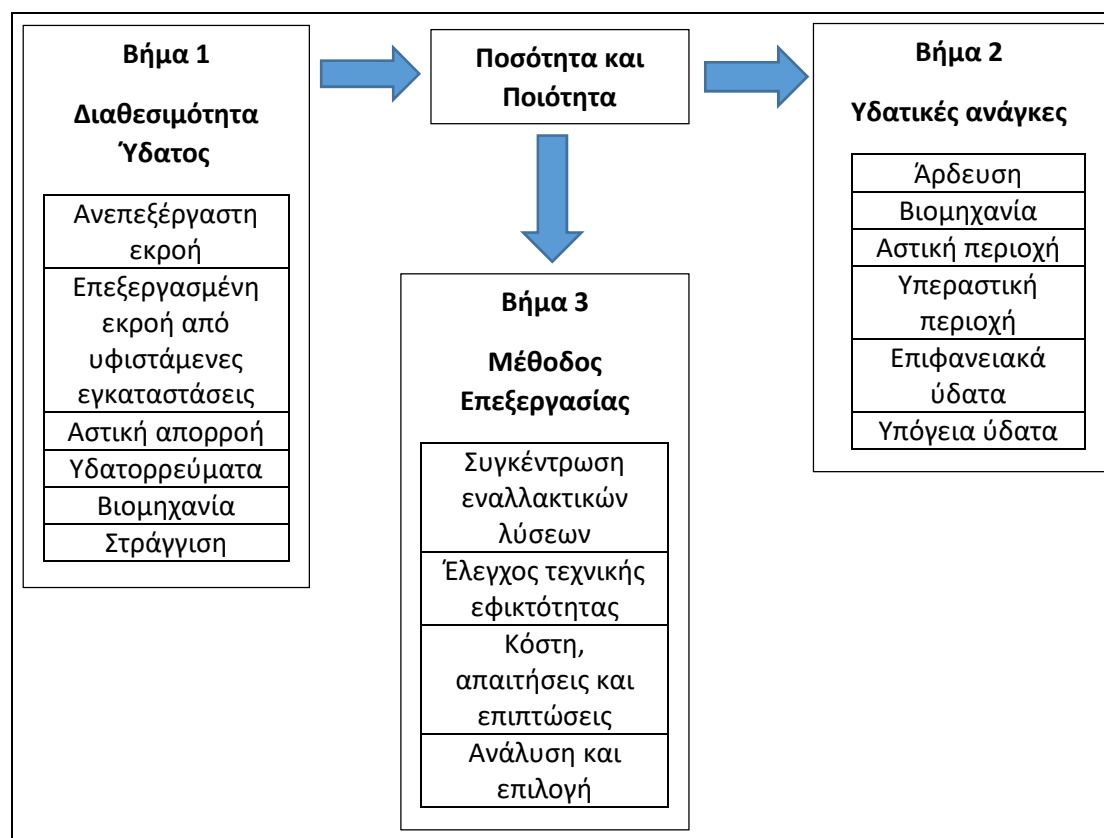
Μια τυπική προμελέτη σκοπιμότητας στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης λυμάτων ξεκινά με τον ποσοτικό και ποιοτικό χαρακτηρισμό της ανεπεξέργαστης εκροής, σε μια εύλογη περίοδο σχεδιασμού (Βήμα 1).

Στη συνέχεια εξετάζονται οι διάφορες υδατικές ανάγκες της περιοχής και τα απαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά (Βήμα 2).

Ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα του δεδομένου και του ζητούμενου ύδατος σχεδιάζονται και κοστολογούνται όλα τα πιθανά συστήματα επεξεργασίας (Βήμα 3).

Οι σχέσεις των παραπάνω βημάτων γίνονται πιο κατανοητές αν παρουσιαστούν οργανωμένες σε σύστημα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Μεθοδολογία προμελέτης επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων (Oertle, 2019).



Στην κοστολόγηση λαμβάνεται υπόψη και η απόσταση του σημείου επαναχρησιμοποίησης από την περιοχή της εγκατάστασης και το κόστος κατασκευής του αγωγού μεταφοράς, μαζί με τις δαπάνες άντλησης αν χρειάζεται. Συνήθως οι χρήσεις που βρίσκονται κοντά στην πόλη και έχουν μικρό κόστος μεταφοράς, έχουν υψηλές προδιαγραφές καθαρότητας που αυξάνουν το κόστος επεξεργασίας.

Για τα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα σχεδιασμού, όπως και για τα οικονομικά δεδομένα, χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη στο διάστημα λειτουργίας του έργου. Η πρόβλεψη αυτή θα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον ένα αισιόδοξο και ένα απαισιόδοξο σενάριο ως προς την έκβαση των πραγμάτων.

Για κάθε σενάριο εκτός από το κόστος λαμβάνονται υπόψη και δεδομένα εμπειρικής φύσεως, όπως αξιολογήσεις παρόμοιων συστημάτων και πληροφορίες για την στάση των εμπλεκόμενων φορέων και της κοινής γνώμης.

Η επιλογή μεθόδου επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης γίνεται με σύγκριση εναλλακτικών λύσεων σε επίπεδο προμελέτης. Οι διάφορες επιλογές κοστολογούνται και επιλέγεται τελικά η πιο συμφέρουσα.

Τα θέματα που εξετάζει και περιλαμβάνει μια τέτοια μελέτη επιλογής είναι:

1. Το αρχικό και το έτος σχεδιασμού
2. Η εξυπηρετούμενη έκταση

3. Η θέση της εγκατάστασης
4. Ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός
5. Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων
6. Οι ισχύοντες κανονισμοί και οι προδιαγραφές της εκροής
7. Ο βαθμός επεξεργασίας
8. Η επιλογή των διεργασιών
9. Η επιλογή του εξοπλισμού
10. Η διαρρύθμιση και η υδραυλική κατατομή της εγκατάστασης
11. Οι ενεργειακές και άλλες απαιτήσεις
12. Το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος
13. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις

2.2.1 Αρχικό έτος και έτος σχεδιασμού

Συνήθως παίρνει αρκετά χρόνια από τη στιγμή που συλλαμβάνεται η ιδέα ενός έργου αποχέτευσης - επεξεργασίας - επαναχρησιμοποίησης, μέχρι αυτό να σχεδιαστεί, να μελετηθεί, να κατασκευαστεί και να παραδοθεί σε χρήση. Αυτό σημαίνει ότι κάποιες συνθήκες μπορεί να έχουν αλλάξει ήδη, πριν καν το έργο πρωτολειτουργήσει. Από την άλλη, το έτος κατά το οποίο το σύστημα φτάνει να λειτουργεί σε πλήρη κλίμακα μπορεί να βρίσκεται κοντά στη λήξη του χρόνου ζωής του. Έτσι το έργο διαρθρώνεται σε φάσεις λειτουργίας οι οποίες καθορίζονται από τους εξής παράγοντες:

1. Διάρκεια ζωής των υλικών και δυνατότητες αντικατάστασης
2. Δυνατότητα επέκτασης αν απαιτηθεί
3. Απόδοση των εγκαταστάσεων μέχρι τη μεγιστοποίηση του φορτίου
4. Εξέλιξη του πληθυσμού, της εξυπηρετούμενης έκτασης, της εμπορικής και βιομηχανικής ανάπτυξης και των χαρακτηριστικών των αποβλήτων
5. Εξέλιξη επιτοκίων, κατασκευαστικού κόστους και διαθεσιμότητας κεφαλαίων

Τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος έχουν καθένα δικό του χρόνο ζωής. Οι αποχετευτικοί αγωγοί, οι διώρυγες και γενικά οι μεγάλες κατασκευές σχεδιάζονται για μεγάλο κύκλο ζωής, άνω των 50 ετών. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαδικασία κατασκευής μιας προσθήκης είναι πιο ανεπιθύμητη από το να κατασκευασθεί κάτι και για κάποια χρόνια θα υπολειτουργεί. Αντίθετα, οι μονάδες επεξεργασίας και τα αντλιοστάσια σχεδιάζονται για μικρότερα διαστήματα, ούτως ώστε να αποφεύγονται περίοδοι υπολειτουργίας του ακριβού εξοπλισμού τους. Έτσι ανάλογα με την προβλεπόμενη εξέλιξη της εξυπηρετούμενης παροχής, χωρίζεται ο συνολικός χρόνος σε στάδια, στα οποία γίνονται οι προγραμματισμένες επεκτάσεις (Qasim, 1999). Στο ξεκίνημα κάθε σταδίου, η εγκατάσταση μπορεί να ακολουθήσει και νέα μέθοδο επεξεργασίας.

2.2.2 Εξυπηρετούμενη έκταση

Εξυπηρετούμενη έκταση είναι η έκταση που τα απόβλητά της με κάποιο τρόπο θα καταλήγουν στο σύστημα επεξεργασίας. Η έκταση αυτή συνήθως προκύπτει από τη γεωμορφολογία σε συνδυασμό με τα διοικητικά όρια. Περιοχές εκτός δήμου, που όμως βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο, μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στο σύστημα επεξεργασίας. Αντίθετα, περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο και απαιτούν έργα άντλησης για να συνδεθούν, πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.

Η υποψήφια έκταση θα πρέπει να αξιολογείται τοπογραφικά, γεωλογικά, υδρολογικά, κλιματικά, οικολογικά, κοινωνικά και οικονομικά. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το υφιστάμενο και το μελλοντικό χωροταξικό σχέδιο. Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων, η εξυπηρετούμενη έκταση περιλαμβάνει και τους αποδέκτες της επαναχρησιμοποίησης.

2.2.3 Θέση εγκατάστασης

Η γεωμορφολογία της εξυπηρετούμενης περιοχής καθορίζει τη χωρική ανάπτυξη του αποχετευτικού δικτύου και την επιλογή της θέσης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Κι αυτό γιατί ο κρισιμότερος παράγοντας είναι το κόστος προσαγωγής των αποβλήτων στην εγκατάσταση και της εκροής στους αποδέκτες επαναχρησιμοποίησης. Ωστόσο οικολογικοί και χωροταξικοί παράγοντες, όπως επίσης και η αξία της γης μπορεί να φανούν ισχυρότεροι της γεωμορφολογίας.

Βασικές όμως προϋποθέσεις κατά τη διαμόρφωση του συστήματος είναι:

1. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πρέπει να βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο από το δίκτυο συλλογής και σε ψηλότερο από το δίκτυο επαναχρησιμοποίησης ώστε η ροή να γίνεται με τη βαρύτητα.
2. Η τοποθεσία θα πρέπει να είναι σχετικά απομονωμένη από περιοχές που κατοικούνται ή πρόκειται να κατοικηθούν ώστε κανείς να μην ενοχλείται από την αντιαισθητική εικόνα και τις δυσάρεστες οσμές.
3. Ο χώρος θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε μελλοντικές επεκτάσεις να είναι εφικτές και να απομένει μια περιφερειακή ζώνη πρασίνου για την απόκρυψή τους.
4. Το πεδίο διάθεσης της εκροής και των στερεών προϊόντων της επεξεργασίας καλό είναι να βρίσκεται στον ίδιο χώρο της εγκατάστασης.
5. Οι μονάδες επεξεργασίας δεν θα πρέπει να βρίσκονται μέσα σε πλημμυρικό πεδίο αλλιώς θα πρέπει να υπερυψωθεί το έδαφος ή να κατασκευαστούν αναχώματα. Στη δεύτερη περίπτωση θα χρειαστεί επίσης αντλιοστάσιο αποστράγγισης με αυτόνομη γεννήτρια ασφαλείας.

6. Η εγκατάσταση θα πρέπει να είναι σε επαφή με οδικό δίκτυο λειτουργικό σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Αν η περιοχή διαθέτει σιδηρόδρομο, καλό θα είναι να κατασκευαστεί επί της γραμμής, ιδίως αν δεν υπάρχει πρόβλεψη για την επί τόπου διαχείριση των στερεών προϊόντων της επεξεργασίας.
7. Στα κατάντη της εγκατάστασης θα πρέπει να βρίσκεται υδάτινος αποδέκτης ή αρδευσιμη έκταση που να μπορούν να δεχτούν την επεξεργασμένη εκροή.
8. Το έδαφος θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει το βάρος των μονάδων επεξεργασίας αλλιώς θα πρέπει να προβλεφθεί δαπάνη για βαθιές θεμελιώσεις. Η επιλεγείσα θέση θα πρέπει επίσης να βρίσκεται μακριά από ενεργά ρήγματα.
9. Ο χώρος της εγκατάστασης θα πρέπει να έχει μια υψομετρική διαβάθμιση που να επιτρέπει τη βαρυτική ροή μεταξύ των μονάδων επεξεργασίας για ελαχιστοποίηση των εκσκαφών και επιχωματώσεων, των αντλήσεων και της διατάραξης του φυσικού τοπίου.
10. Κανένα προτεινόμενο σύστημα δεν θα πρέπει να διέρχεται από προστατευόμενες και περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Επίσης καμία μονάδα επεξεργασίας δε θα πρέπει να εφάπτεται σε ακτές και όχθες υδάτινων σωμάτων για να μην επηρεάσει το καθεστώς ροής, τη στερεομεταφορά και την υδρόβια ζωή.

2.2.4 Εξυπηρετούμενος Πληθυσμός

Ο όγκος των παραγόμενων λυμάτων μιας κοινότητας είναι ανάλογος του εξυπηρετούμενου πληθυσμού, γι' αυτό είναι σημαντικό να τον έχουμε προβλέψει για κάθε στιγμή του έργου. Η εξέλιξη του πληθυσμού γενικά ακολουθεί την οικονομική ανάπτυξη και την πρόοδο των υποδομών και αναφέρεται στο τμήμα του πληθυσμού που είναι συνδεδεμένο κάθε στιγμή με το αποχετευτικό δίκτυο. Δηλαδή η πληθυσμιακή μεταβολή μπορεί να μην είναι δημογραφική, αλλά να οφείλεται στην επέκταση του αποχετευτικού δικτύου.

Η πρόβλεψη του πληθυσμού γίνεται συνήθως με βάση τα ιστορικά δεδομένα και μια παραδοχή για την εξέλιξή τους. Στην Ελλάδα, η Στατιστική Αρχή διενεργεί απογραφές κάθε δέκα χρόνια. Ωστόσο καλό θα είναι τα δεδομένα αυτά να συμπληρώνονται και με άλλα, όπως ληξιαρχικά, εκλογικά, φορολογικά, υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, τουριστικά, και άλλα, ώστε να αποτυπώνεται ο πραγματικός και όχι μόνο ο επίσημος πληθυσμός.

Για τη μελλοντική εξέλιξη υπάρχουν διάφορα μαθηματικά μοντέλα προσαρμογής στα υπάρχοντα δεδομένα, τα οποία όμως αδυνατούν να προβλέψουν αλλαγές στις αιτίες που μεταβάλλουν τον πληθυσμό. Γι' αυτό το σκοπό γίνονται συγκρίσεις με άλλες πόλεις και εξετάζονται αισιόδοξα και απαισιόδοξα σενάρια ούτως ώστε να υπάρχει σχέδιο για όλες τις περιπτώσεις. Η διαίρεση του έργου σε φάσεις δίνει τη δυνατότητα

αναπροσαρμογής των πληθυσμιακών δεδομένων, ώστε τουλάχιστον τα δαπανηρότερα στοιχεία του συστήματος να επιλέγονται με μεγαλύτερη ασφάλεια. Για τα πάγια στοιχεία που σχεδιάζονται στο μέγιστο χρονικό ορίζοντα η περίπτωση υπερασχεδιασμού δεν είναι τόσο ανησυχητική διότι οι υπερβάσεις στα στοιχεία αυτά δεν στοιχίζουν τόσο όσο στις μονάδες επεξεργασίας και τα μηχανήματα.

Εκτός από το συνολικό πλήθος των κατοίκων, σημασία έχει και η κατανομή τους στο χώρο. Η αξιόπιστη αποτύπωση της πληθυσμιακής κατανομής χρησιμεύει στη σωστή σχεδίαση του δικτύου συλλογής και εμμέσως επηρεάζει τη λήψη των επόμενων αποφάσεων. Σημαντική είναι επίσης και η κατανομή στο χρόνο: αν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού, εβδομαδιαία ή άλλη διακύμανση, ιδίως σε τουριστικές περιοχές.

Για τον υπολογισμό του όγκου λυμάτων που παράγει ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός πρέπει να γίνει προσδιορισμός του κατά κεφαλήν ημερήσιου όγκου. Αυτός μπορεί να προκύψει από δεδομένα κατανάλωσης ύδατος κάνοντας παραδοχές για το ποσοστό που καταλήγει στην αποχέτευση της πόλης. Η κατά κεφαλήν ημερήσια παραγωγή λυμάτων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις βιομηχανικές δραστηριότητες, τις συνήθειες των κατοίκων και την ύπαρξη αρδευόμενου πρασίνου. Μεγάλες επίσης αποκλίσεις μπορεί να υπάρξουν αν το αποχετευτικό δίκτυο είναι παντοροϊκό ή υπάρχουν φθορές και κακοτεχνίες. Για τις ελληνικές μελέτες συστήνεται μια τιμή 160 L/d (Φράγκος, 2019).

2.2.5 Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων

Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων εκφράζονται σε όρους παροχής και χημικών συγκεντρώσεων και εξαρτώνται από την κατανάλωση ύδατος στην κοινότητα και τη συνεισφορά της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων. Αν δεν υπάρχει υφιστάμενη εγκατάσταση που να τηρεί αρχείο μετρήσεων, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκτιμώνται με δειγματοληψίες πεδίου και συγκριτικές αναλύσεις από άλλες παρόμοιες πόλεις. Οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν αφορούν φυσικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά (Τσώνης, 2004).

2.2.5.1 Θολότητα

Με τον όρο θολότητα εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό, που προκαλείται από τα διάφορα τεμαχίδια οργανικού και ανόργανου υλικού (αιωρούμενα ή κολλοειδή) τα οποία είναι διασπαρμένα στην υγρή φάση (Τσώνης, 2004). Η διαύγεια χάνεται επειδή τα τεμαχίδια αυτά προκαλώντας απορρόφηση και σκέδαση στις διερχόμενες ακτίνες φωτός, μειώνουν τελικά την έντασή της. Μετρώντας την ένταση του φωτός που σκεδάζεται κατά 90° προσδιορίζουμε τη θολότητα σε νεφελομετρικές μονάδες θολότητας (NTU). Η θολότητα είναι φυσικό χαρακτηριστικό που εξαρτάται

από τον αριθμό και τον όγκο των σωματιδίων που περιέχονται στα λύματα. Σύμφωνα με το νόμο του Rayleigh είναι ανάλογη του αριθμού των σωματιδίων και του τετραγώνου του όγκου τους. Έτσι δύο δείγματα με την ίδια περιεκτικότητα σε στερεά μπορεί να έχουν διαφορετική θολότητα.

2.2.5.2 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά

Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (Total Suspended Solids, TSS) είναι η μάζα των συστατικών ενός διαλύματος που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 2 μm. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με διήθηση δια μέσω φίλτρου αντιστοιχού ανοίγματος πόρων (Τσώνης, 2004). Αποτελούν το ρυπαντικό φορτίο που πρόκειται να αφαιρεθεί με φυσικές διεργασίες, την απλή και την υποβοηθούμενη καθίζηση και μετρώνται σε mg/L.

2.2.5.3 Ολικά Διαλυτά Στερεά

Τα Ολικά Διαλυτά Στερεά (Total Dissolved Solids, TDS) είναι όσα από τα στερεά συστατικά έχουν διάμετρο μικρότερη από 2μm. Προσδιορίζονται ζυγίζοντας το υλικό που απομένει αν εξατμιστεί το υγρό που πέρασε από το φίλτρο των 2μm. Αποτελούν το μέρος του οργανικού φορτίου που είναι πολύ μικρού μεγέθους για να αφαιρεθεί με καθίζηση και προορίζεται για βιολογική επεξεργασία (Τσώνης, 2004).

2.2.5.4 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ενός δείγματος υγρών αποβλήτων ορίζεται ως το διαλυμένο οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση των συστατικών του δείγματος με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Ο προσδιορισμός του οξυγόνου στην αρχή και στο τέλος της μέτρησης γίνεται με οξυγονόμετρο ή με την ιωδιομετρική μέθοδο (Τσώνης, 2004). Το οξυγονόμετρο είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο που διαθέτει αισθητήρα και δίνει απευθείας το αποτέλεσμα, ενώ η ιωδιομετρική μέθοδος είναι αναλυτική μέθοδος που στηρίζεται στην εξουδετέρωση με δείκτες (τιτλοδότηση).

Στην επεξεργασία λυμάτων μας ενδιαφέρει το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο πέντε ημερών (BOD₅). Ως ποιοτική παράμετρος εκφράζει το σύνολο του διαλυτού οργανικού υλικού που βιοαποδομείται σχετικά εύκολα από μικροοργανισμούς που απαντώνται στη φύση και αντιστοιχεί στους ρύπους που πρόκειται να αφαιρεθούν με βιολογικές διεργασίες.

Για τις ανάγκες των μελετών είναι παγιωμένο να θεωρείται μια ημερήσια παραγωγή BOD₅ 60 g ανά κάτοικο (Φράγκος, 2019). Για ημερήσια παραγωγή λυμάτων 160 L ανά κάτοικο, τότε η συγκέντρωση BOD₅ για το σχεδιασμό των έργων είναι 375 mg/L.

2.2.5.5 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου ενός έντονα οξειδωτικού μέσου που απαιτείται για την οξείδωση του οργανικού υλικού των λυμάτων κάτω από καθορισμένες πειραματικές συνθήκες (Τσώνης, 2004). Το οξειδωτικό μέσο είναι το διχρωμικό κάλιο και ο προσδιορισμός της κατανάλωσης γίνεται με τιτλοδότηση παρουσία δείκτη.

Το οξειδωτικό μέσο μπορεί να οξειδώσει τις περισσότερες οργανικές ενώσεις του δείγματος, ακόμα και όσες δεν μπορούν ή δεν προλαβαίνουν οι μικροοργανισμοί σε διάστημα 5 ημερών και έτσι η διαφορά μεταξύ των δύο παραμέτρων είναι ενδεικτική της σύνθεσης των λυμάτων.

2.2.5.6 Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC) είναι όλη η ποσότητα οργανικού άνθρακα σε ένα δείγμα λυμάτων και προσδιορίζεται από τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται με την καύση των στερεών ενός δείγματος. Ως ποιοτική παράμετρος εκφράζει το σύνολο του οργανικού φορτίου, μαζί με τις μη αποδομούμενες ενώσεις (Τσώνης, 2004).

2.2.5.7 Ολικό Άζωτο

Το Ολικό Άζωτο (Total Nitrogen, TN) είναι το άθροισμα του οργανικού, του αμμωνιακού και του οξειδωμένου (νιτρώδους και νιτρικού) αζώτου των λυμάτων. Το οργανικό άζωτο βρίσκεται υπό μορφή αζωτούχων οργανικών ενώσεων (πρωτεΐνες, αμινοξέα, νουκλεϊκά οξέα, τριφωσφορική αδενοσίνη), οι οποίες δημιουργούν το αμμωνιακό κατά τη διάσπασή τους με τη δράση μικροοργανισμών. Ο συνολικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης των δύο αυτών μορφών γίνεται με τη μέθοδο Kjeldahl, κατά την οποία το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακό και μετριέται μαζί με το υφιστάμενο. Για το χωριστό προσδιορισμό τους το αμμωνιακό άζωτο αφαιρείται από το δείγμα με απόσταξη και στη συνέχεια μετριέται το εναπομείναν οργανικό με τη μέθοδο Kjeldahl (Τσώνης, 2004). Οι οξειδωμένες μορφές αζώτου προκύπτουν από την οξείδωση της αμμωνίας (νιτροποίηση) και συνήθως δεν απαντώνται στα ανεπεξέργαστα λύματα (Pressley, 1972).

Το οργανικό άζωτο και το αμμωνιακό παράγωγό του αποτελούν τον σημαντικότερο ανόργανο ρύπο. Η παρουσία τους συνδέεται με τον κίνδυνο ευτροφισμού κυρίως στα θαλάσσια ύδατα. Ειδικά το αμμωνιακό άζωτο είναι επιπλέον παράγοντας κατανάλωσης οξυγόνου και τοξικό για τα ψάρια (SRCS, 2009).

2.2.5.8 Νιτρικό Άζωτο

Το Νιτρικό Άζωτο (Nitrate, NO_3) είναι μια μορφή οξειδωμένου αζώτου που στα λύματα παράγεται από το οργανικό και το αμμωνιακό άζωτο με τη δράση μικροοργανισμών (Postgate, 1998). Ο προσδιορισμός του γίνεται με ιοντική

χρωματογραφία ή αισθητήρα μέτρησης νιτρικών (Τσώνης, 2004). Τα ανεπεξέργαστα λύματα συνήθως έχουν μηδενική συγκέντρωση νιτρικών αλλά η συγκέντρωση αυξάνεται κατά την επεξεργασία με αποτέλεσμα τα νιτρικά να απαντώνται στην εκροή και να αποτελούν ρύπο που πρέπει να αφαιρεθεί για να αποφευχθεί ο ευτροφισμός.

2.2.5.9 Ολικός Φώσφορος

Ο Ολικός Φώσφορος (Total Phosphorus, TP) απαντάται στα λύματα με τη μορφή ορθοφωσφορικών, πολυφωσφορικών και ως οργανικός φώσφορος. Είναι ο δεύτερος σημαντικότερος ανόργανος ρύπος και η παρουσία του συνδέεται με τον ευτροφισμό ιδίως στα εσωτερικά ύδατα. Ο προσδιορισμός του γίνεται χρωματομετρικά (Τσώνης, 2004).

2.2.5.10 Ολικά κολοβακτηρίδια

Τα Ολικά Κολοβακτηρίδια (Total Coliforms, TC) είναι ένα σύνολο κολοβακτηριδίων που ζουν στο έδαφος, τα νερά, πάνω σε φυτά και στο πεπτικό σύστημα των ζώων και του ανθρώπου (Bartram, 1996). Δεν είναι απαραίτητως παθογόνα, αλλά αποτελούν ένδειξη πιθανής μόλυνσης με κόπρανα. Η ανίχνευσή τους γίνεται με καλλιέργεια υλικού διήθησης σε άγαρ. Χρησιμοποιώντας μια τεχνική φθορισμού στην υπεριώδη ακτινοβολία προσδιορίζεται το μέγεθος και το είδος των βακτηριακών πληθυσμών στο δείγμα.

2.2.5.11 Κολοβακτηρίδια Κοπράνων

Τα Κολοβακτηρίδια Κοπράνων (Fecal Coliforms, FC) είναι βακτήρια που αναπτύσσονται στα κόπρανα των ζώων και του ανθρώπου. Δεν είναι απαραίτητως παθογόνα αλλά αποτελούν ένδειξη βέβαιης μόλυνσης με κόπρανα, στα οποία αναπτύσσονται και μικροοργανισμοί που είναι σίγουρα παθογόνοι. Το κυριότερο κολοβακτηρίδιο κοπράνων είναι το *Escherichia coli* (e-coli), που αποτελεί και το δείκτη για την παρουσία κοπράνων στο δείγμα (Bartram, 1996). Η ανίχνευσή του γίνεται με διήθηση του δείγματος και την καλλιέργεια του υλικού που αφαιρέθηκε σε υπόστρωμα λακτόζης. Αναλόγως του αριθμού των αποικιών που αναπτύσσονται προκύπτει και η συγκέντρωση του συνολικού αριθμού κολοβακτηριδίων κοπράνων στο δείγμα.

2.2.5.12 Ιικό φορτίο

Ιικό φορτίο είναι η συγκέντρωση παθογόνων ιών στα λύματα. Προσδιορίζεται έμμεσα με τον εμβολιασμό μιας κυτταρικής καλλιέργειας, η οποία θα εμφανίσει κηλίδες (πλάκες) στα σημεία που θα προσβληθεί από ιούς. Αναλόγως της ανάπτυξης των

πλακών μπορεί να εκτιμηθεί η παράμετρος Plaque Forming Unit (PFU) που είναι η μονάδα μέτρησής του ενεργού ιικού φορτίου (Sun, 2013). Εκτός από αυτή την παραδοσιακή μέθοδο υπάρχουν και πιο εξειδικευμένες μοριακές τεχνικές που επιτυγχάνουν εντοπισμό, ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση ιών συγκεκριμένων ασθενειών, ακόμα κι αν τη στιγμή της μέτρησης είναι αδρανοποιημένοι (Corruz, 2020).

2.2.6 Ισχύοντες κανονισμοί και προδιαγραφές εκροής

Η νομοθεσία που αφορά την επεξεργασία λυμάτων στη χώρα μας συμμορφώνεται με την Ευρωπαϊκή Οδηγία «για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων» με κωδικό 91/271/ΕΟΚ η οποία στην ελληνική νομοθεσία είναι γνωστή ως ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ192, 1997). Βασικό στοιχείο της είναι οι ποιοτικές προδιαγραφές κάθε επεξεργασμένης εκροής και ο ορισμός των περιοχών που θα θεωρούνται ευαίσθητες στον ευτροφισμό για να εφαρμοστούν οι πιο αυστηρές προδιαγραφές για την αφαίρεση των θρεπτικών στοιχείων αζώτου και φωσφόρου. Το τελευταίο προσδιορίστηκε σαφέστερα με τη δημιουργία σχετικού καταλόγου ευαίσθητων περιοχών (ΦΕΚ1811, Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων, 1999), ο οποίος αργότερα συμπληρώθηκε και με άλλες (ΦΕΚ405, Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων (τροποποίηση), 2002).

Πολύ μεγάλης σημασίας είναι η Ευρωπαϊκή Οδηγία - Πλαίσιο για το Νερό, γνωστή και ως Οδηγία 2000/60/ΕΚ (ΦΕΚ280, 2003). Η Οδηγία αυτή, μετά από μια μακρόχρονη περίοδο συζητήσεων και διαπραγματεύσεων μεταξύ των Κρατών Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου 2000. Η Οδηγία συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείριση τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Επιπλέον, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια οικοσυστήματα. Για την εφαρμογή της οδηγίας αυτής στη χώρα μας εκδόθηκε το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007 (ΦΕΚ54, 2007) το οποίο περιλαμβάνει μια σειρά από μέτρα και διαδικασίες για την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης κάθε Υδατικού Διαμερίσματος. Οι Λεκάνες Απορροής Ποταμών και τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας καθορίστηκαν με την Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων της 16/07/2010 (ΥΠΕΝ, 2022).

Τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Πελοποννήσου (GR01), Βόρειας Πελοποννήσου (GR02), Ανατολικής Πελοποννήσου (GR03), Αττικής (GR06), Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας

(GR07) εγκρίθηκαν από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων και δημοσιεύτηκαν στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ1004B, 2013). Ακολούθησαν τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Ηπείρου (GR05), Ανατολικής Μακεδονίας (GR11) και Θράκης (GR12) (ΦΕΚ2292B', 2013), (ΦΕΚ2291B', 2013), (ΦΕΚ2290B', 2013) και τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04), Θεσσαλίας (GR08), Δυτικής Μακεδονίας (GR09) και Κεντρικής Μακεδονίας (GR10) (ΦΕΚ2562B', 2014), (ΦΕΚ2561B', 2014), (ΦΕΚ181B', 2014), (ΦΕΚ182B', 2014).

Κάθε Σχέδιο Διαχείρισης (ΣΔ) αποτελεί έγγραφο στρατηγικού σχεδιασμού, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες και τις λειτουργικές οδηγίες για μια ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων εντός μιας λεκάνης απορροής ποταμού. Στο Σχέδιο γίνεται μια γενική περιγραφή των χαρακτηριστικών των ποταμών, των λιμνών, των παράκτιων υδάτων, των υπόγειων υδάτων και των προστατευόμενων περιοχών που σχετίζονται με τα ύδατα (ΥΠΕΝ, 2022). Μεταξύ άλλων περιλαμβάνεται η οικολογική, η χημική και η ποσοτική κατάσταση των υδάτων, οι απολήψεις, οι πιέσεις και η οικονομική ανάλυση των χρήσεων ύδατος, δεδομένα απαραίτητα σε μια μελέτη επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων.

Με την πάροδο του χρόνου οι προδιαγραφές εκροής των εγκαταστάσεων επεξεργασίας συμπληρώθηκαν με τις προδιαγραφές των διαφόρων μορφών επαναχρησιμοποίησης (ΦΕΚ354, 2011). Έτσι διαθέτουμε πλέον προδιαγραφές για άρδευση καλλιεργειών και πρασίνου, βιομηχανική και αστική χρήση, εμπλουτισμό υπογείων υδροφόρων και διάθεση σε υδάτινους αποδέκτες.

2.2.6.1 Διάθεση σε υδάτινο αποδέκτη

Για τη διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων σε αποδέκτη που δεν έχει χαρακτηριστεί ευπαθής στον ευτροφισμό το ΦΕΚ 192 11/3/1997 προβλέπει τα εξής όρια:

Αιωρούμενα Στερεά: 35 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 25 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Αν ο αποδέκτης είναι ευπαθής στον ευτροφισμό το Ολικό Άζωτο επιτρέπεται να είναι 15 mg/L και ο Ολικός Φώσφορος 2mg/L. Αν η εκροή προέρχεται από πληθυσμό άνω των 100000 κατοίκων τότε τα παραπάνω όρια αναθεωρούνται σε 10 mg/L και 1mg/L αντίστοιχα.

2.2.6.2 Επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία

Ο κυριότερος προβληματισμός για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων στην άρδευση αφορά τη μόλυνση των προϊόντων με παθογόνους μικροοργανισμούς. Για να αποφευχθεί αυτός ο κίνδυνος γίνεται διάκριση των

καλλιεργειών σε ευαίσθητες και λιγότερο ευαίσθητες, με κριτήριο το αν τα προϊόντα τους απευθύνονται για τη διατροφή των ανθρώπων και αναλόγως του αν μεσολαβεί κάποια επεξεργασία πριν την κατανάλωση. Για παράδειγμα τα πράσινα λαχανικά που καταναλώνονται λίγες ώρες μετά τη συγκομιδή και οφείλουν να είναι καλά ποτισμένα για να είναι φρέσκα, θεωρούνται ευαίσθητα στους παθογόνους μικροοργανισμούς. Αντιθέτως, ένα βιομηχανικό φυτό δεν είναι ευαίσθητο. Μια βιομηχανοποιημένη τροφή που υπόκειται σε αποστείρωση και ακολουθεί προσθήκη συντηρητικών είναι μετρίως έως καθόλου ευαίσθητη. Έτσι για την άρδευση των καλλιεργειών έχουν καθιερωθεί δύο κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης: η περιορισμένη και η απεριόριστη.

Στην περιορισμένη άρδευση, η χρήση της εκροής περιορίζεται σε λιβάδια, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικών φυτών, πολλαπλασιαστικού υλικού και μη οπωροφόρων δέντρων. Επιτρέπεται η χρήση για παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο υπό την προϋπόθεση ότι θα υπάρξει επεξεργασία πριν την κατανάλωση και ότι οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Απαγορεύεται η εφαρμογή με καταιονισμό και η πρόσβαση του κοινού στις φυτείες.

Οι προδιαγραφές για περιορισμένη άρδευση είναι (ΦΕΚ354, 2011):

Αιωρούμενα Στερεά: 35 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 25 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

e-coli: 200 μονάδες /100 mL

Ολικό Άζωτο: 45 mg/L

Η απεριόριστη άρδευση διέπεται από πιο αυστηρούς κανόνες και μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλες τις καλλιέργειες. Οπωροφόρα δέντρα, αμπέλια, κηπευτικά και οποιαδήποτε άλλη καλλιέργεια της οποίας τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά μπορούν να αρδεύονται ελεύθερα. Η έλλειψη περιορισμών αφορά και τη μέθοδο εφαρμογής του ύδατος, έτσι επιτρέπεται ο καταιονισμός και η χρήση σε θερμοκήπια.

Οι προδιαγραφές για απεριόριστη άρδευση είναι (ΦΕΚ354, 2011):

Θολότητα: 2 NTU

Αιωρούμενα Στερεά: 10 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 10 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Ολικό Άζωτο: 45 mg/L

e-coli: 5 μονάδες /100 mL

Και στις δύο περιπτώσεις η επιτρεπόμενη συγκέντρωση του ολικού αζώτου μειώνεται σε 15 mg/L στις περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση της

επεξεργασμένης εκροής σε ταμιευτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορρύπανση ζωνών ή υπάρχει επικοινωνία με υπόγειο υδροφόρα. Επίσης, αν η περιοχή έχει χαρακτηριστεί ευαίσθητη στον ευτροφισμό εισάγεται όριο και για τον ολικό φώσφορο, 2 mg/L.

2.2.6.3 Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία

Εκροές που πληρούν στοιχειώδη κριτήρια καθαρότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η ψύξη χωρίς ανακυκλοφορία. Σ' αυτές τις περιπτώσεις οι προδιαγραφές είναι (ΦΕΚ354, 2011):

Αιωρούμενα Στερεά: 35 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 25 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Ολικό Άζωτο: 45 mg/L

e-coli: 200 μονάδες /100 mL

Εκροές υψηλότερης καθαρότητας μπορούν να βρουν κι άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θερμικό ή ψυκτικό μέσο σε λέβητες και εναλλάκτες, σε χημικές διεργασίες και για το πλύσιμο εγκαταστάσεων. Αυτό που αποκλείεται είναι να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα. Οι προδιαγραφές για απεριόριστη βιομηχανική χρήση είναι (ΦΕΚ354, 2011):

Θολότητα: 2 NTU

Αιωρούμενα Στερεά: 10 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 10 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Ολικό Άζωτο: 45 mg/L

e-coli: 5 μονάδες /100 mL

2.2.6.4 Επαναχρησιμοποίηση σε αστικές χρήσεις

Η επεξεργασμένη εκροή μπορεί να καλύψει τη ζήτηση ύδατος για πολλές αστικές χρήσεις. Η σημαντικότερη είναι η άρδευση μεγάλων εκτάσεων πρασίνου (δημόσια πάρκα, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφεία και γήπεδα γκολφ). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη συμπύκνωση εδαφών, την κατάσβεση πυρκαγιών, το πλύσιμο των οδών και την τροφοδοσία σιντριβανιών. Η άρδευση θα πρέπει να γίνεται στάγδην διότι ο καταιονισμός απαγορεύεται. Εξάιρεση αποτελούν τα γήπεδα γκολφ που έχουν μεγάλης έκτασης χλοοτάπητες και δεν μπορεί να εφαρμοσθεί άλλη μέθοδος.

Οι προδιαγραφές για αστική επαναχρησιμοποίηση είναι (ΦΕΚ354, 2011):

Θολότητα: 2 NTU

Αιωρούμενα Στερεά: 2 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 10 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Ολικό Άζωτο: 15 mg/L

e-coli: 2 μονάδες /100 mL

2.2.6.5 Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων

Η τροφοδότηση (εμπλουτισμός) υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποβλέπει στους εξής στόχους:

1. Στη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα εμποδίζει τη διείσδυση θαλάσσιου ύδατος σε παράκτιους υδροφορείς.
2. Στην αποταμίευση επεξεργασμένων εκροών για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης που συνήθως είναι εποχιακή.
3. Στην ανύψωση της στάθμης υδροφόρου ορίζοντα που αναπληρώνεται με πολύ αργό ρυθμό και έχει φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσης.
4. Στη βελτίωση των τεχνικών ιδιοτήτων του εδάφους και την πρόληψη καθιζήσεων.

Οι ελληνικοί κανονισμοί απαγορεύουν τον εμπλουτισμό υδροφόρων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση (ΦΕΚ54, 2007). Για να επιτραπεί εμπλουτισμός απαιτείται υδρογεωλογική μελέτη που να εγγυάται ότι οι επεξεργασμένες εκροές δεν πρόκειται να έρθουν σε επαφή με υπόγεια ύδατα που χρησιμοποιούνται για ύδρευση. Ο εμπλουτισμός γίνεται είτε με κατακόρυφη διήθηση από την επιφάνεια του εδάφους είτε με οριζόντια μέσω γεωτρήσεων. Για την κατακόρυφη διήθηση ισχύουν οι παρακάτω ποιοτικές προδιαγραφές (ΦΕΚ354, 2011):

Αιωρούμενα Στερεά: 35 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 25 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Ολικό Άζωτο: 15 mg/L

e-coli: 200 άτομα /100 mL

Η επιφανειακή εφαρμογή λειτουργεί ως ένα επιπλέον στάδιο επεξεργασίας αφού το έδαφος από την επιφάνεια μέχρι τον υδροφόρο λειτουργεί σαν φίλτρο αφαιρώντας κάποιο ποσοστό ρύπων. Η εφαρμογή αυστηρότερων προδιαγραφών επεξεργασίας επιτρέπει τον απευθείας εμπλουτισμό υδροφόρων με γεωτρήσεις. Οι προδιαγραφές αυτές είναι οι εξής (ΦΕΚ354, 2011):

Θολότητα: 2 NTU

Αιωρούμενα Στερεά: 2 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 10 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Ολικό Άζωτο: 15 mg/L

e-coli: 2 μονάδες /100 mL

Σε όλες τις περιπτώσεις, ο επιτρεπόμενος ολικός φώσφορος αν η περιοχή είναι ευαίσθητη στον ευτροφισμό είναι 2 mg/L.

Όλες οι παραπάνω προδιαγραφές συνοψίζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Προδιαγραφές εκροής ανά τρόπο διάθεσης.

	SS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	e-coli μονάδες /100 mL	Θολότητα (NTU)	TP (mg/L)
Διάθεση σε υδάτινο σώμα	35	25	125				
Διάθεση σε ευαίσθητο υδάτινο σώμα	35	25	125	15			2
Διάθεση αποβλήτων >100000 κατοίκων σε ευαίσθητο υδάτινο σώμα	35	25	125	10			1
Περιορισμένη άρδευση	35	25	125	45	200		
Περιορισμένη βιομηχανική χρήση	35	25	125	45	200		
Εμπλουτισμός με διήθηση	35	25	125	15	200		
Απεριόριστη άρδευση	10	10	125	45	5	2	
Απεριόριστη βιομηχανική χρήση	10	10	125	45	5	2	
Αστική χρήση	2	10	125	15	2	2	
Εμπλουτισμός με γεωτρήσεις	2	10	125	15	2	2	

2.2.7 Βαθμός επεξεργασίας

Ο βαθμός επεξεργασίας προκύπτει από τη σχέση ποιοτικών χαρακτηριστικών εισροής – εκροής και πιο συγκεκριμένα από το λόγο της ποσότητας που αφαιρέθηκε προς την αρχική συγκέντρωση κάθε ρύπου.

Η εκροή μετά την επεξεργασία της μπορεί να διοχετευτεί σε κάποιο υδάτινο σώμα, να χρησιμοποιηθεί για άρδευση καλλιεργειών, εμπλουτισμό υδροφόρων ή σε αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Κάθε τρόπος επαναχρησιμοποίησης έχει τις δικές του ποιοτικές απαιτήσεις. Συγκεντρώσεις ρύπων και συγκεκριμένων μικροοργανισμών μπορεί να είναι επικίνδυνες για ορισμένες χρήσεις όπως η ανθρώπινη κατανάλωση και η άρδευση των καλλιεργειών, ενώ στην περίπτωση διάθεσης της εκροής σε κάποιο αποδέκτη, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η συγκέντρωση μετά την αραιώση να μην εμποδίζει τις μετέπειτα χρήσεις του ύδατος.

Ο βαθμός επεξεργασίας μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή από το μηδέν ως το ένα, αναλόγως των διεργασιών και του διαθέσιμου χρόνου για την ολοκλήρωσή τους. Εμπειρικά όμως γνωρίζουμε ότι η πρωτοβάθμια επεξεργασία επιτυγχάνει 40 – 60 % αφαίρεση στερεών και 25 – 35 % αφαίρεση οργανικού φορτίου. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία αφαιρεί σχεδόν τελείως τα στερεά και το 80 – 85 % του οργανικού φορτίου των λυμάτων (Τσώνης, 2004). Η τριτοβάθμια επεξεργασία ολοκληρώνει την αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου και θρεπτικών. Ένα τέταρτο στάδιο επεξεργασίας μπορεί να αφαιρέσει εξειδικευμένους ρύπους όπως κατάλοιπα από τη χρήση φαρμάκων, ιούς και ίχνη τοξικών ενώσεων που διαφεύγουν από τα προηγούμενα στάδια (Borea, 2019).

Ο βαθμός επεξεργασίας μπορεί να προδιαγράφεται και από τους κανονισμούς. Το ελληνικό νομικό πλαίσιο προβλέπει 70 – 90 % αφαίρεση Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου και υπό προϋποθέσεις 40%. Ομοίως για τα Αιωρούμενα Στερεά προβλέπεται αφαίρεση 90% και υπό προϋποθέσεις 70%. Οι προϋποθέσεις αφορούν μικρούς πληθυσμούς και αποδέκτες χαρακτηρισμένους με ειδικές μελέτες ως «λιγότερο ευαίσθητους» (ΦΕΚ192, 1997). Για το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο προβλέπεται αφαίρεση 75%.

2.2.8 Επιλογή μονάδων και γραμμών επεξεργασίας

Η επίτευξη των στόχων της επεξεργασίας γίνεται με διάφορες διεργασίες (treatment processes), φυσικές και βιοχημικές, οι οποίες πραγματοποιούνται με διατάξεις που λέγονται μονάδες επεξεργασίας (treatment units). Ένας αριθμός μονάδων επεξεργασίας, τοποθετημένων στη σειρά που επιτυγχάνουν έναν ή περισσότερους στόχους ονομάζεται τρένο ή γραμμή επεξεργασίας (process train).

Αποτελεί αντικείμενο της προμελέτης να καταλήξει στην επιλογή της γραμμής επεξεργασίας, που επιτυγχάνει τα καλύτερα αποτελέσματα με το μικρότερο κόστος. Αυτό θεωρητικά γίνεται με την εξέταση κάθε συνδυασμού μονάδων επεξεργασίας για κάθε δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Είναι μια διαδικασία που απαιτεί χρόνο αλλά και επίγνωση των πραγματικών δυνατοτήτων κάθε μεθόδου, ιδίως σε συνδυασμό με τις ειδικές συνθήκες κάθε έργου. Πολλοί από αυτούς τους παράγοντες δεν υφίστανται εκ των προτέρων ποσοτικοποιημένοι και η αξιολόγησή τους απαιτεί μελέτες πολυκριτηριακής ανάλυσης. Μια άλλη πιθανή απαίτηση είναι η εκπόνηση εργαστηριακών ή και πιλοτικών δοκιμών των προτεινόμενων μονάδων, πριν την τελική τους επιλογή.

2.2.9 Επιλογή εξοπλισμού

Κάθε μέθοδος επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης απαιτεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό βιομηχανικά είδη για τον εξοπλισμό και τη λειτουργία της. Ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη του τη διαθεσιμότητα και το κόστος στο οποίο προσφέρονται στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Αναλόγως αυτής της διαθεσιμότητας η επιλογή μπορεί να κινηθεί προς συστήματα υψηλότερης ή χαμηλότερης τεχνολογίας. Συνήθως οι χαμηλότερες τεχνολογίες απαιτούν μεγαλύτερους χώρους επεξεργασίας και διάθεσης.

Μια άλλη παράμετρος είναι ότι τα μηχανήματα συνήθως πωλούνται στη μορφή έτοιμων συγκροτημάτων, τα οποία προσφέρονται σε συγκεκριμένες διαστάσεις. Έτσι η επιλογή μιας μονάδας επεξεργασίας συχνά προδιαγράφει και τις διαστάσεις της. Αυτό υποχρεώνει τη σύγκριση των διαφόρων μεθόδων να γίνεται βάσει των προσφερόμενων μηχανημάτων. Από το επίπεδο της προμελέτης λοιπόν, ξεκινά και η έρευνα αγοράς του εξοπλισμού.

2.2.10 Διαρρύθμιση, υδραυλική κατατομή και απαιτήσεις σε ενέργεια

Εκτός τη θέση της εγκατάστασης και τη γραμμή επεξεργασίας, η προμελέτη πρέπει να περιέχει και μια ενδεικτική διαρρύθμιση των μονάδων επεξεργασίας μαζί με μια προκαταρκτική διαστασιολόγηση.

Αναλόγως της μεθόδου επεξεργασίας διαφέρουν και οι ενεργειακές απαιτήσεις κάθε συστήματος που αφορούν κυρίως την κίνηση μηχανημάτων και τη θέρμανση αντιδραστήρων. Όσο πιο βιομηχανοποιημένο είναι ένα σύστημα τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτεί σε σχέση με κάποιο που στηρίζεται σε φυσικές διεργασίες. Σημαντική ποσότητα ενέργειας μπορεί να απαιτείται για τη διακίνηση των λυμάτων αν η τοπογραφία δεν ευνοεί τη φυσική ροή.

2.2.11 Τα οικονομικά του έργου

Η προμελέτη πρέπει να συνοδεύεται με οικονομική ανάλυση που να τεκμηριώνει γιατί η επιλεγείσα μέθοδος είναι η καλύτερη και ότι συνδυάζει επίτευξη υψηλών στόχων με χαμηλό κόστος. Η ανάλυση πρέπει να έχει βάθος χρόνου που να καλύπτει τη διάρκεια ζωής του έργου. Η αξία της γης, τα έξοδα κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης και τα τυχόν έσοδα από την ανάκτηση ύδατος και ενέργειας αποτελούν το περιεχόμενο της μελέτης αυτής. Στα κόστη περιλαμβάνεται και η δέσμευση υδατικών ή άλλων πόρων με περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επεξεργασία και

τη διάθεση των αποβλήτων και αντιστρόφως. Επίσης, η επιλογή μιας χρέωσης των υπηρεσιών και της τιμής πώλησης του ανακτημένου ύδατος αποτελούν μέρος του σχεδιασμού.

2.2.12 Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων πρέπει να αναφέρεται στις αρνητικές επιπτώσεις από την κατασκευή και τη λειτουργία του έργου στην εγγύς περιοχή και στις θετικές από την προστασία του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή. Κι εδώ πρέπει να τεκμηριωθεί ότι η όχληση στις περιοχές επεξεργασίας, διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης θα είναι εντός των επιτρεπτών ορίων και ότι το όφελος για το περιβάλλον και την ανάπτυξη της περιοχής δικαιολογεί την κατασκευή του έργου.

Οι συνδυασμοί επιλογών που θα προκύψουν κατά το στάδιο προμελέτης μπορεί να είναι πάρα πολλοί και ο όγκος των δεδομένων τεράστιος για να συγκριθούν ένα προς ένα. Μόνο οι συνδυασμοί μονάδων επεξεργασίας μπορούν να δημιουργήσουν έως και 50000 γραμμές επεξεργασίας (Chen, 1997). Μαζί με τη χωρική ανάλυση το πλήθος των επιλογών αυξάνεται κι άλλο.

Οι παραπάνω δραστηριότητες μπορεί να γίνουν τόσο απαιτητικές, ώστε να είναι αδύνατο να τις διαχειριστεί ένα στέλεχος ή και επιτελείο στελεχών χρησιμοποιώντας μόνο τη σκέψη και την κρίση του και ενδεχομένως κάποια συμβατικά υπολογιστικά εργαλεία. Το κυριότερο χαρακτηριστικό είναι οι ραγδαία εξελισσόμενες συνθήκες και η εμπλοκή παραμέτρων με τρόπο που αρχικά δεν είναι γνωστός. Οι διάφορες επιλογές αποφάσεων που καλείται να πάρει ένας οργανισμός δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες και αυξάνεται η πιθανότητα να ληφθούν και αποφάσεις που δεν αξιοποιούν σωστά τις διαθέσιμες ευκαιρίες. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα ήρθαν να τη δώσουν τα λεγόμενα Συστήματα Υποστήριξης αποφάσεων.

2.3 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

Παρά την πληθώρα νέων κανονισμών και προδιαγραφών που αφορούν την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, η αρχή λειτουργίας των εγκαταστάσεων δεν έχει αλλάξει τα τελευταία εβδομήντα περίπου χρόνια. Αυτό που έχει αλλάξει είναι τα εργαλεία που διατίθενται για τη σχεδίαση και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων (Qasim, 1999).

Χάρη στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι σημερινοί μηχανικοί εκπονούν μελέτες με ταχύτητα και αξιοπιστία ασύλληπτη στις εποχές που όλα γίνονταν με χαρτί και

μολύβι. Συστήματα επίβλεψης, ελέγχου και συλλογής δεδομένων (supervisory control and data acquisition – SCADA) παρακολουθούν και καταγράφουν τη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Ειδικό λογισμικό δίνει πρακτικές οδηγίες για το χειρισμό και τη συντήρηση. Αυτόματος έλεγχος σε κάθε διεργασία ρυθμίζει τα πάντα υποκαθιστώντας τον ανθρώπινο παράγοντα.

Σε θεωρητικό επίπεδο, έχουμε την ανάδειξη των μηχανιστικών μοντέλων ως εργαλείων περιγραφής της χρονικά μεταβαλλόμενης φύσης των διεργασιών (dynamic modelling). Παράλληλα έχουμε την εμφάνιση νέων εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης όπως η διαδραστική προσομοίωση, τα έμπειρα συστήματα και τα γλωσσόμορφα μοντέλα και νέων εργαλείων όπως οι γλώσσες προσομοίωσης και τα γραφικά (Patry, 1989).

Ο συνδυασμός αυτός γνώσης και τεχνολογίας οδήγησε σε μια ειδική μορφή λογισμικού, τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems). Πρόκειται για διαδραστικά πληροφοριακά συστήματα που βοηθούν τους χρήστες να λύσουν ασθενώς δομημένα προβλήματα (Ford, 2002). Προβλήματα δηλαδή για τα οποία οι αρχικές συνθήκες, οι στόχοι και οι διαθέσιμες λύσεις δεν είναι δεδομένες, ούτε διακρίνεται εύκολα ποια είναι καλύτερη από την άλλη.

2.3.1 Ιστορία Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων

Η ιδέα των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων αναπτύχθηκε μέσα από θεωρητικές κυρίως μελέτες επιχειρησιακής οργάνωσης στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο του Carnegie των Ηνωμένων Πολιτειών κατά τις δεκαετίες του 1950 – 60 (Power, Power, D.J. A Brief History of Decision Support Systems., 2007). Η πρώτη πρακτική εφαρμογή αφορούσε το αντιαεροπορικό σύστημα SAGE (Semi – Automatic – Ground – Environment) των Ηνωμένων Πολιτειών που ολοκληρώθηκε το 1962.

Η κυκλοφορία του ηλεκτρονικού υπολογιστή System 360 από την IBM το 1964 έκανε δημοφιλή τα λεγόμενα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης (Management Information Systems - MIS). Αν και τα συστήματα αυτά αντιμετώπιζαν μόνο δομημένα προβλήματα ανάλυσης δεδομένων, υπήρξαν πρόδρομος για τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων. Η μετάβαση έγινε καθώς η μηχανογράφηση της επιχειρησιακής ενημέρωσης (business reporting) ενισχυόταν με αλγορίθμους επεξεργασίας δεδομένων που εισέρχονταν σε πραγματικό χρόνο. Έτσι τα βελτιωμένα αυτά συστήματα εξελίχθηκαν σε απαραίτητο εργαλείο στη βιομηχανία και τη διοίκηση επιχειρήσεων.

Το 1971 πρωτοεμφανίζεται στη βιβλιογραφία ο όρος Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων και διευκρινίζεται ότι δεν αναφέρεται σε οποιαδήποτε προβλήματα αλλά στα ασθενώς δομημένα (Gorry, 1971). Έκτοτε αποτελούν αυτοτελές γνωστικό αντικείμενο προσελκύοντας μεγάλο ενδιαφέρον.

Μια από τις πρώτες επιτυχημένες εφαρμογές ήταν το σύστημα PROMIS που δημιουργήθηκε το 1976 στο Πανεπιστήμιο του Vermont των Ηνωμένων Πολιτειών και προοριζόταν για την υποστήριξη ιατρικών αποφάσεων (Shultz, 1989). Επειδή όμως η κλασική μέθοδος επιχειρησιακής ενημέρωσης που στηριζόταν στη στατιστική ανάλυση και σύγκριση χρονοσειρών κρίθηκε ανεπαρκής ειδικά σε επιχειρησιακό επίπεδο, προέκυψε μία ξεχωριστή κατηγορία συστημάτων, τα λεγόμενα έμπειρα συστήματα (expert systems). Τα συστήματα αυτά στηρίζονται περισσότερο στις λογικές διεργασίες παρά στους αριθμητικούς υπολογισμούς και έκτοτε τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων διακρίνονται από τα Έμπειρα Συστήματα για το μαθηματικό τους υπόβαθρο (Ford, 2002). Ωστόσο, διαφοροποιούνται από τα μοντέλα επειδή η φύση τους είναι διαδραστική, εξελικτική και προσαρμοστική (Keen, 1980).

2.3.2 Δομή και λειτουργία Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων αποτελούνται από τρία βασικά στοιχεία:

6. Τη βάση δεδομένων (knowledge base)
7. Τη μηχανή (inference engine)
8. Το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη (user interface)

Η βάση δεδομένων είναι ένα αρχείο που περιέχει κανόνες, δεδομένα και πληροφορίες σχετικές με τις αποφάσεις που πρόκειται να ληφθούν. Οι κανόνες αποτελούν το ενεργητικό περιεχόμενο της βάσης δεδομένων, ενώ τα δεδομένα και οι πληροφορίες το παθητικό (Hayes-Roth, 1983).

Η μηχανή είναι το λογισμικό που εκτελεί τις λογικές λειτουργίες του συστήματος. Για τη δημιουργία Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων χρησιμοποιούνται οι συνήθεις γλώσσες προγραμματισμού (Delphi, Visual C++, Java, C# και Visual Basic), αλλά υπάρχουν και έτοιμες πλατφόρμες όπως η DSS Architect της Micro Strategy. Μια δημοφιλής επιλογή είναι τα φύλλα εργασίας (Microsoft Excel, Lotus 1-2-3 και Quattro Pro) που αποτελούν ενδιάμεση λύση μεταξύ γλώσσας και πλατφόρμας (Rus, 2007).

Το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη είναι το φυσικό σημείο του συστήματος στο οποίο γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων και η εμφάνιση των αποτελεσμάτων. Η εισαγωγή των δεδομένων μπορεί να γίνεται με ερωτήσεις από την πλευρά του συστήματος, με απευθείας εντολές από την πλευρά του χρήστη, με καταλόγους πολλαπλής επιλογής και συνδυασμό των παραπάνω (Sprague, 1982)

Τα συστήματα ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους ταξινομούνται ως εξής:

1. Συστήματα βασισμένα στα δεδομένα. Τα συστήματα αυτά δέχονται ως είσοδο δεδομένα επιχειρησιακής ενημέρωσης και παίρνουν αποφάσεις

συγκρίνοντάς τα με χρονοσειρές που έχουν αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων τους.

2. Συστήματα βασισμένα στα μέσα. Τα συστήματα αυτά είναι ένα επίπεδο πιο πάνω από τα προηγούμενα, για το γεγονός ότι ως δεδομένα επιχειρησιακής ενημέρωσης μπορούν να δεχτούν ολόκληρα αρχεία διαφόρων μορφών (κείμενα, εικόνες, χάρτες, φύλλα εργασίας) και να αντλήσουν από αυτά την απαιτούμενη για τη λήψη της απόφασης πληροφορία.
3. Συστήματα βασισμένα στη γνώση. Τα συστήματα αυτά έχουν αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων τους ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και αναλόγως της απάντησης ο χρήστης οδηγείται στην επόμενη ερώτηση, ακολουθώντας έτσι ένα δενδροειδές διάγραμμα ροής που τον οδηγεί στο αποτέλεσμα.
4. Συστήματα βασισμένα σε μοντέλα. Τα συστήματα αυτά αντί για βάση δεδομένων έχουν αποθηκευμένο ένα μαθηματικό μοντέλο που με βάση τα δεδομένα εισόδου λαμβάνει τις αποφάσεις.
5. Συστήματα βασισμένα στην επικοινωνία. Τα συστήματα αυτά δεν εκτελούν λογικές λειτουργίες και οι αποφάσεις λαμβάνονται από ανθρώπους. Η συνεισφορά τους είναι ότι μέσω της επικοινωνίας οι ομάδες μπορούν να γίνουν μεγαλύτερες και αποτελεσματικότερες. Συνήθεις λειτουργίες των συστημάτων αυτών είναι η τηλεδιάσκεψη, η ανταλλαγή μηνυμάτων και η κοινή χρήση αρχείων (Power, 2002).

2.3.3 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στην επεξεργασία λυμάτων

Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων γρήγορα εφαρμόστηκαν και στον τομέα της επεξεργασίας λυμάτων. Η ανάγκη που το επέβαλε ήταν η ασαφής και απρόβλεπτη φύση του υλικού και των διεργασιών που είναι αδύνατο να αναλυθούν και να κατανοηθούν πλήρως. Άλλος λόγος είναι η έλλειψη επαρκούς αριθμού ειδικών επί του θέματος για να ασχοληθούν με τις ολοένα και περισσότερες εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται. Μάλιστα λόγω της αυξανόμενης περιβαλλοντικής ευαισθησίας τα πρότυπα γίνονται όλο και πιο αυστηρά και οι εξοπλισμοί πολυπλοκότεροι (Mikosz, 2010). Και μέχρι κάποιος να αποκτήσει τη σχετική εμπειρία, έρχεται η ηλικία που πρέπει να αποσυρθεί και μαζί του χάνονται και οι γνώσεις του (Finn, 1989).

Οι δύο κύριες εφαρμογές είναι ο τομέας του χειρισμού και ο τομέας της σχεδίασης εγκαταστάσεων. Άλλες εφαρμογές αφορούν τη συμβουλευτική σε θέματα μέτρων ασφαλείας κατά το χειρισμό επικίνδυνων αποβλήτων.

Τα περισσότερα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί αφορούν διαδραστική συμβουλευτική, μιμούμενα τον τρόπο που ο χρήστης θα συνομιλούσε με έναν άνθρωπο – ειδικό. Τα συστήματα αυτά είναι πολύ χρήσιμα κατά τους διαγνωστικούς ελέγχους που διενεργεί το προσωπικό της συντήρησης όταν ο μηχανολογικός εξοπλισμός παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα. Η ανάγκη τέτοιας υποστήριξης γίνεται

εύκολα αντιληπτή αν αναλογιστούμε το πλήθος και την πολυπλοκότητα των μηχανημάτων που μπορεί να έχει μια εγκατάσταση επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης. Λόγω αυτής της πολυπλοκότητας, μέσα στην ίδια εγκατάσταση, μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα συστήματα υποστήριξης, που το καθένα να εξειδικεύεται σε ξεχωριστό μηχάνημα ή διεργασία. Για παράδειγμα το σύστημα Pump Pro™ είναι ειδικό για το διαγνωστικό έλεγχο φυγοκεντρικών αντλιών (Fritsch, 1986). Η λειτουργία του στηρίζεται σε μια σειρά από ερωτήσεις που δίνονται στο χρήστη και αναλόγως των απαντήσεων προκύπτει η αιτία του προβλήματος.

Πιο εξελιγμένο είναι το σύστημα REVA (Rotating Equipment Vibration Advisor), το οποίο εντοπίζει τις φθορές στα κινούμενα στοιχεία των μηχανημάτων (άξονες, ρουλεμάν κλπ). Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην ανάλυση του φάσματος των δονήσεων της μηχανής. Το φάσμα αυτό λαμβάνεται με αισθητήρες και καταγραφείς. Η ανάλυσή του από το διαγνωστικό λογισμικό γίνεται αναζητώντας σε αυτό μορφές που έχουν ήδη συσχετιστεί με συγκεκριμένες φθορές στα υλικά. Οι συσχετίσεις αυτές έχουν προκύψει από μακροχρόνιες μελέτες και πειράματα. Χωρίς την τεχνολογία αυτή, η διάγνωση των φθορών μπορεί να γίνει μόνο από έμπειρους μηχανικούς, που είναι αδύνατο να υπάρχουν σε κάθε εγκατάσταση. Το κόστος επισκευής των καταστροφών στα μηχανήματα από ξαφνικές θραύσεις φθηνών σχετικά εξαρτημάτων μπορεί να είναι μεγάλο. Πολύ δυσάρεστες μπορεί να είναι και οι συνέπειες από το σταμάτημα όλης της εγκατάστασης λόγω βλάβης σε ένα υποσύστημα. Με την εφαρμογή όμως ενός αξιόπιστου διαγνωστικού συστήματος, τα προβλήματα εντοπίζονται, παρακολουθούνται και αντιμετωπίζονται έγκαιρα, εξοικονομώντας χρόνο και χρήματα.

Για συστήματα ενεργού ιλύος, οξειδωτικές τάφρους και μονάδες αναερόβιας χώνευσης τα αντίστοιχα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων βασίζονται σε μοντέλα διεργασιών. Τα μοντέλα γενικά υπόκεινται σε κάποια θεωρία ελέγχου (control theory). Όμως οι βιοχημικές διεργασίες της επεξεργασίας λυμάτων σε αντίθεση με άλλα τεχνικά ζητήματα είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοελεγχόμενες και ο χειρισμός τους ανελαστικός. Έτσι είναι δύσκολο να αναπτυχθεί μια σαφής θεωρία ελέγχου, λόγω της ετερογένειας και της συνεχούς μεταβλητότητας των μικροβιακών πληθυσμών και των υποστρωμάτων. Αντίθετα έχει παρατηρηθεί μια σταθερή σχέση εισόδου – εξόδου (input – output) η οποία διακόπτεται από στιγμιαίες μόνο αστάθειες. Η αναγωγή αυτής της σχέσης σε θεωρία ελέγχου ονομάζεται ταυτοποίηση συστήματος (system identification) και αποτελεί βασικό βήμα για την ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (Beck, 1986). Η ταυτοποίηση των διεργασιών υποστηρίζεται κι αυτή με τα δικά της Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων που αναλαμβάνουν τη μετατροπή των δεδομένων σε μοντέλα. Αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι το QUAL2E (Barnwell, 1987), το IAWPRC (Henze, 1986) και η λεγόμενη Βιβλιοθήκη Προσομοιώσεων (Olsson, 1985).

Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι ένα αρκετά πολύπλοκο σύστημα που να συνδυάζει διάφορα επίπεδα λειτουργίας, ανάλογα με τη δυσκολία του προβλήματος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ισπανικό Σύστημα DAI-DEPUR, το οποίο περιλαμβάνει μια μηχανή λογικής αιτιολόγησης (case based reasoner), ένα έμπειρο σύστημα και μια οντολογική βάση δεδομένων (Ceccaroni, 2000). Το σύστημα δέχεται συνεχώς δεδομένα λειτουργίας από την εγκατάσταση τα οποία αποθηκεύονται στο λεγόμενο «ιστορικό». Ο πρώτος μηχανισμός που ενεργοποιείται όταν διαπιστώνεται κάποια ανωμαλία είναι η μηχανή λογικής αιτιολόγησης που αναζητά στο ιστορικό συνθήκες παρόμοιες με τις τρέχουσες, δίνοντας την αντίστοιχη αιτιολόγηση που είχε και τότε σημειωθεί. Αν δεν μπορέσει να βρεθεί παρόμοιο περιστατικό ενεργοποιείται το έμπειρο σύστημα που δίνει την ερμηνεία χρησιμοποιώντας έτοιμους κανόνες. Αν κι αυτό αποτύχει, ενεργοποιείται η οντολογική βάση δεδομένων που είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο τεχνητής νοημοσύνης.

Παρόλο που τα περισσότερα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων στον τομέα της επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης απευθύνονται σε χειριστές, σημαντική προσπάθεια έχει γίνει και για συστήματα που απευθύνονται σε σχεδιαστές.

Η ανάπτυξή τους όμως είναι πιο δύσκολη γιατί ο τρόπος που λειτουργεί η σκέψη όταν ένας άνθρωπος σχεδιάζει δεν έχει κατανοηθεί πλήρως ώστε να μπορέσει να προσομοιωθεί αποτελεσματικά. Πάντως, όπως και ο άνθρωπος, έτσι και τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων ακολουθούν μια στρατηγική διαίρεσης της εργασίας σε υποέργα (subtasks). Τα υποέργα αυτά συνδέονται με το λεγόμενο μαύρο πίνακα (blackboard) ο οποίος είναι μια τοποθεσία συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων κάθε τμήματος. Η αρχιτεκτονική αυτή περιλαμβάνει επίσης μια βάση δεδομένων και ένα εκτελεστικό όργανο.

Από αυτά τα Συστήματα άλλα είναι βασισμένα στα μοντέλα και άλλα στις γνώσεις. Αυτά που βασίζονται στα μοντέλα δέχονται μια σειρά δεδομένων από το χρήστη και δίνουν τη λύση χρησιμοποιώντας μια σειρά εξισώσεων. Αυτά που βασίζονται στις γνώσεις επίσης δέχονται μια σειρά δεδομένων αλλά η απάντηση προκύπτει με λογικές και όχι αριθμητικές διαδικασίες. Η αρχιτεκτονική του μαύρου πίνακα επιτρέπει τη συνύπαρξη των δύο αυτών προσεγγίσεων αναλόγως της φύσης κάθε υποέργου.

2.3.4 Προβλήματα και προοπτικές

Η ανάπτυξη Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων για εφαρμογές Τεχνολογίας του Περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί πως βρίσκεται σε ώριμο στάδιο. Πολλά εργαστήρια έχουν πλέον γνώση της μεθοδολογίας και των απαιτήσεων και η ανάπτυξη ενός νέου συστήματος δεν είναι το ίδιο δύσκολη όσο ήταν παλαιότερα. Παραμένουν όμως ορισμένα προβλήματα όπως η δυσκολία εξεύρεσης ειδικών και το υψηλό κόστος ανάπτυξης πρωτότυπου λογισμικού. Επίσης ο χρόνος που απαιτείται είναι μεγάλος σε σχέση με τους ορίζοντες των οργανισμών. Άλλο πρόβλημα είναι ότι

οι οργανισμοί απαιτούν την ύπαρξη λεπτομερούς σχεδίου προκειμένου να το χρηματοδοτήσουν αποκλείοντας έτσι την παραγωγή καινοτόμων προϊόντων. Σημαντική τροχοπέδη αποτελεί και η πιθανή αδυναμία της πολιτείας να πιστοποιήσει την ασφαλή λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, με αποτέλεσμα τελικά να μην μπορεί να αξιοποιηθεί επιχειρησιακά. Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η τεχνική εφικτότητα ανάπτυξης ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων δεν προεξοφλεί την εφαρμογή του στην καθημερινή πράξη κι αυτό στο χώρο της Τεχνολογίας του Περιβάλλοντος είναι πιο έντονο από άλλα πεδία εφαρμογών (Rossman, 1989).

Από απόψεως περιεχομένου, το χαρακτηριστικό των υφιστάμενων συστημάτων είναι ότι περιορίζονται σε πολύ τεχνικά θέματα αποφεύγοντας την ανάλυση ολοκληρωμένων συστημάτων (Oertle, 2019). Αυτό βέβαια οφείλεται και στο μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας που έχει ένα τέτοιο σύστημα λόγω της δυσκολίας ταυτοποίησης (Beck, 1987). Κι αυτό γιατί θα πρέπει πολλαπλά δεδομένα εισόδου και εξόδου να συζευχθούν ώστε να προκύψει ένα γενικό μοντέλο, ικανό να περιγράψει τη λειτουργία μιας εγκατάστασης σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας (Lessard, 1989). Μια άλλη προσέγγιση είναι να συζευχθούν μεταξύ τους τα επιμέρους μοντέλα των διαδοχικών μονάδων: το μοντέλο του αποχετευτικού δικτύου, της κάθε μονάδας επεξεργασίας και του αποδέκτη (Beck, 1988). Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα εισόδου των επόμενων μονάδων είναι τα δεδομένα εξόδου των προηγούμενων.

Ολοκληρωμένα μοντέλα από διάφορες εγκαταστάσεις μπορούν να αποτελέσουν τη βάση δεδομένων ενός ευρύτερου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων τόσο στη φάση του σχεδιασμού όσο και της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Μια σημαντική ανάγκη είναι η περίπτωση επέκτασης μιας εγκατάστασης για την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων παροχών. Εκεί το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων δίνει την ευκαιρία στους μελετητές να εξετάσουν τι θα συμβεί αν σε μια υφιστάμενη εγκατάσταση αλλάξουν τα χαρακτηριστικά εισόδου και να προτείνει το ιδανικό σχέδιο επέκτασης (Henze, 1986). Στο επίπεδο λειτουργίας, το ζητούμενο είναι ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου που θα ρυθμίζεται σε πραγματικό χρόνο σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν στον αποδέκτη (Beck, 1989).

3. Μεθοδολογία

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η εφαρμογή ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων σε ένα πραγματικό πρόβλημα επεξεργασίας λυμάτων.

Το αντικείμενο που επιλέξαμε είναι αυτό του σχεδιασμού εγκαταστάσεων, για το οποίο τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων αποτελούν νέα τεχνολογία και ως εκ τούτου εντάσσονται στο γνωστικό αντικείμενο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Γεωπεριβάλλον και Εφαρμογή Σύγχρονων Τεχνολογιών για τα Έργα Υποδομής», στο πλαίσιο του οποίου εκπονείται η παρούσα εργασία.

Το σύστημα που επιλέξαμε ονομάζεται DSS POSEIDON και έχει αντικείμενο την επιλογή μεθόδου επεξεργασίας λυμάτων. Σημαντικός λόγος που επελέγη είναι ότι ενσωματώνει και το στοιχείο της επαναχρησιμοποίησης, η οποία ενδιαφέρει πάρα πολύ τη Γεωπονική Επιστήμη μιας ο κύριος χρήστης συνήθως είναι οι γεωργικές καλλιέργειες και οι χώροι πρασίνου.

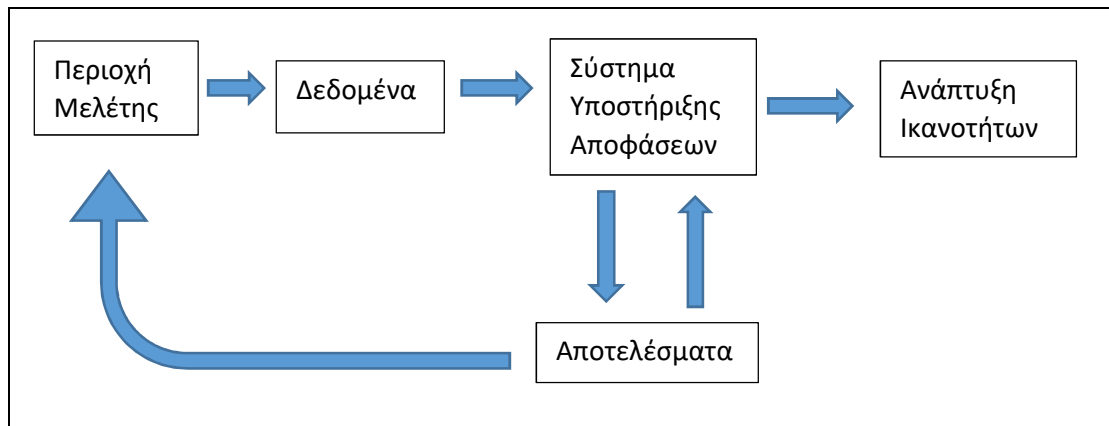
Ως περιοχή μελέτης επιλέξαμε την Πάτρα διότι διαθέτει ήδη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, η οποία έχει μελετηθεί με συμβατικά μέσα και έτσι υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Το όφελος που μπορεί να έχει και η Πάτρα από τη μελέτη μας είναι σίγουρα η ανατροφοδότηση του θέματος με νέα στοιχεία και πιθανώς προτάσεις βελτιώσεων. Το γενικό όφελος από την εργασία αυτή θα είναι η συνεισφορά στην ανάπτυξη ικανοτήτων (capacity building) όσον αφορά το αντικείμενο της επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων.

Για την επίτευξη του στόχου έγιναν οι εξής δράσεις:

1. Ανάλυση της περιοχής μελέτης.
2. Ανάλυση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων
3. Συλλογή και επεξεργασία απαιτούμενων δεδομένων
4. Εκτέλεση και λήψη αποτελεσμάτων
5. Σύγκριση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

Για την κατανόηση της αλληλουχίας και της διασύνδεσης των παραπάνω δράσεων κατασκευάσαμε διάγραμμα ροής (Πίνακας 5).

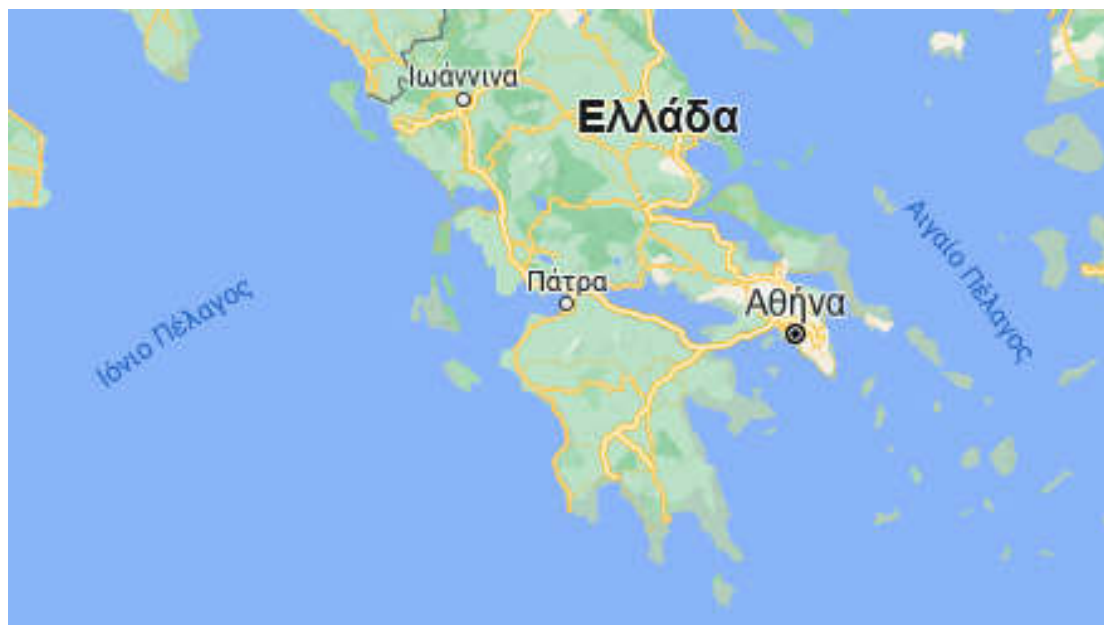
Πίνακας 5: Διάγραμμα ροής των δράσεων της εργασίας



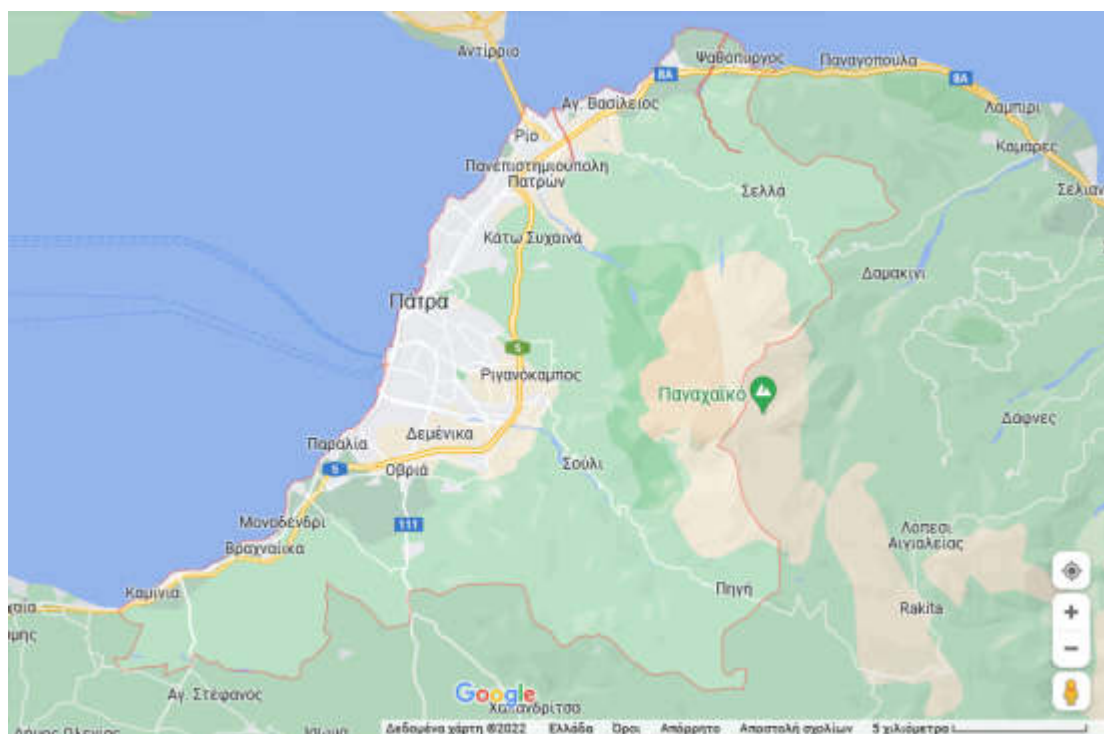
Το διάγραμμα ροής δείχνει ότι η Περιχή Μελέτης, τα Δεδομένα, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων και τα Αποτελέσματα συνδέονται μεταξύ τους με μια κυκλική σχέση ανατροφοδότησης. Δηλαδή εξετάζοντας την Περιχή Μελέτης αντλούμε τα Δεδομένα, τα οποία εισάγουμε στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, το οποίο μας δίνει Αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα επιστρέφονται στην Περιχή Μελέτης μέσω της εφαρμογής τους στην πράξη. Παραπλεύρως έχουμε μια πρόσθετη ωφέλεια, την Ανάπτυξη Ικανοτήτων, που συμβαίνει σε ευρύτερο χώρο από την Περιχή Μελέτης.

4. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Η Πάτρα, πρωτεύουσα της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας και του Νομού Αχαΐας, είναι η τρίτη μεγαλύτερη ελληνική πόλη και βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο της Πελοποννήσου (Εικόνα 2). Διοικητικά εκπροσωπείται από το Δήμο Πατρέων, ο οποίος έχει έκταση 334.858 km² και πληθυσμό 217,555 κατοίκους (Εικόνα 3).



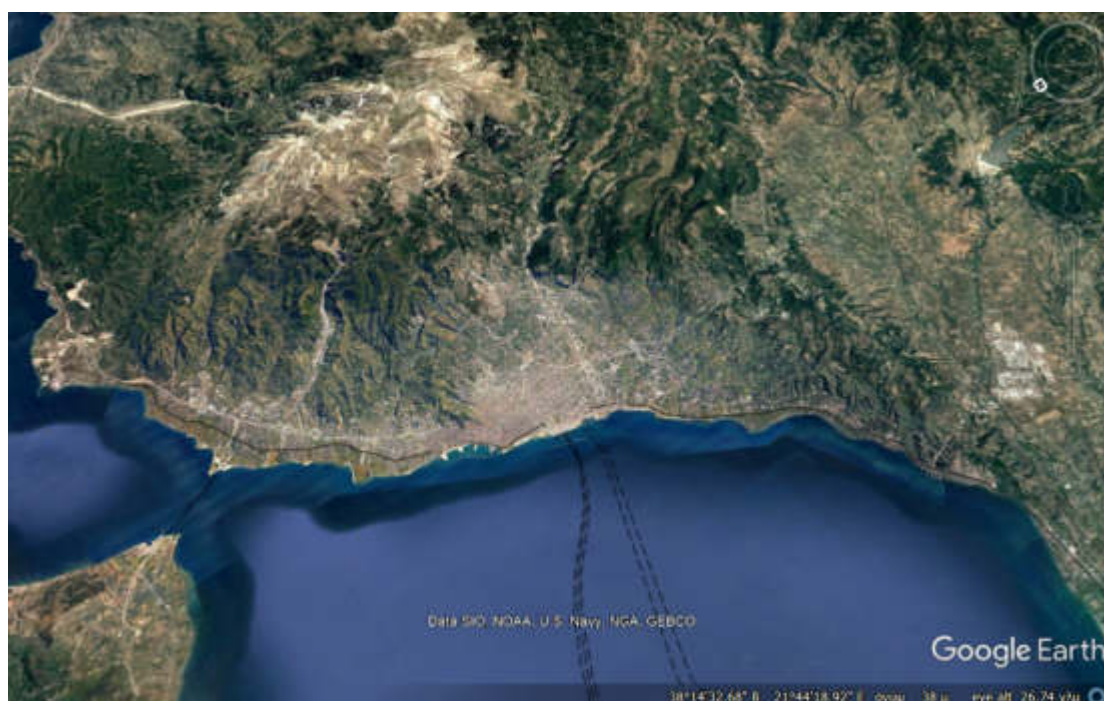
Εικόνα 2: Η θέση της Πάτρας στον Ελληνικό χώρο (πηγή Google maps).



Εικόνα 3: Δήμος Πατρέων (πηγή: Google maps)

4.1 Γεωγραφία - Γεωλογία

Η πόλη είναι χτισμένη στους πρόποδες του Παναχαϊκού όρους (ύψους 1926 m), φτάνοντας μέχρι την ακτή του Πατραϊκού κόλπου (Εικόνα 4). Στο ιστορικό κέντρο, βασικό στοιχείο της αστικής μορφολογίας είναι η υψομετρική διαβάθμιση, η οποία τη χωρίζει σε άνω και κάτω πόλη. Η άνω πόλη που είναι και παλαιότερη είναι κτισμένη στη λοφώδη απόληξη του Παναχαϊκού που βρίσκεται πλησιέστερα στη θάλασσα. Η κάτω πόλη ξεκίνησε να κτίζεται στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και σταδιακά κάλυψε όλη την έκταση μεταξύ των ποταμών Γλαύκου και Χαράδρου, η οποία προηγουμένως ήταν προσχωσιγενής και ελώδης. Ο σημερινός Δήμος Πατρέων καλύπτει ακόμα μεγαλύτερη έκταση, η οποία βέβαια περιλαμβάνει εξοχές και προάστια.



Εικόνα 4: Αεροφωτογραφία του παραλιακού μετώπου της Πάτρας (πηγή: Google Earth)

Ο μεγαλύτερος ποταμός που διαρρέει το Δήμο Πατρέων είναι ο Γλαύκος, ο οποίος πηγάζει από την περιοχή Σούλι στο Παναχαϊκό και εκβάλλει στον Πατραϊκό κόλπο. Η εκβολή του βρίσκεται στην περιοχή Ιτιές. Άλλοι ποταμοί είναι ο Χάραδρος, ο Μείλιχος, ο Καλλίνας, η Παναγίτσα και ο Διακονιάρης. Ο ποταμός Μείλιχος στις εκβολές του στη βόρεια ακτή της πόλης σχηματίζει το έλος της Αγιάς, το οποίο έχει έκταση 30000 στρέμματα και κατοικείται από τουλάχιστον 90 είδη πτηνών.

Γεωλογικά η περιοχή δομείται από αλπικούς σχηματισμούς της ζώνης της Πίνδου που απαντώνται στο όρος Παναχαϊκό και από σύγχρονες τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις που καλύπτουν τις παράκτιες περιοχές, τους πρόποδες του Παναχαϊκού

με τη μορφή τεκτονικών βαθμίδων και τη λεκάνη του Γλαύκου (ΦΕΚ1004B, 2013). Οι αλπικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους, κερατολίθους και στρώματα φλύσχη που παρουσιάζονται πολυπτυχωμένα και έντονα διαρρηγμένα. Οι μεταλπικοί σχηματισμοί αποτελούνται από εναλλαγές αδρομερών υλικών (κροκάλες, κροκαλοπαγή, άμμοι) με πλέον λεπτομερή υλικά (άργιλοι, μάργες, λύες).

Η ευρύτερη περιοχή της Πάτρας χαρακτηρίζεται από έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα που συνεχίζεται ως σήμερα. Τα επίκεντρα εντοπίζονται κυρίως στην τάφρο Ρίου – Αντιρρίου και στο Δυτικό Κορινθιακό Κόλπο. Σύστημα ρηγμάτων καθορίζει επίσης την κατεύθυνση των διαφόρων Χειμάρρων (Κατριβέσης, 2003).

4.2 Πληθυσμός

Σύμφωνα με την απογραφή του 2021, ο «λειτουργικός» πληθυσμός της πόλης είναι 217,555 κάτοικοι (Eurostat, 2022). Από αυτούς οι 167,446 ζουν στο αστικό κέντρο και οι υπόλοιποι στα γύρω προάστια. Απογραφικά δεδομένα για την εξέλιξη του πληθυσμού της Πάτρας διατίθενται από το 1853 (Πίνακας 6). Αυτά τα δεδομένα προκύπτουν από συνδυασμό πηγών: 1853 – 1920 (Τριανταφύλλου, 1995), 1928 – 1980 (ΕΛΣΤΑΤ, 1980), 1981 – 2011 (ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. Απογραφικά Δεδομένα, 2011), 2021 (Eurostat, 2022).

Πίνακας 6: Απογραφικά δεδομένα του πληθυσμού της Πάτρας

Έτος	Πληθυσμός	Έτος	Πληθυσμός
1853	15,854	1951	87,570
1861	18,342	1961	96,100
1870	16,641	1971	112,228
1879	25,494	1981	142,163
1889	33,529	1991	161,782
1896	37,985	2001	171,616
1907	37,728	2007	180,000
1920	52,174	2011	213,984
1928	61,278	2021	217,555

Παρατηρούμε ότι η πληθυσμιακή αύξηση της Πάτρας είναι περίπου εκθετική με κάποιες σύντομες περιόδους στασιμότητας (Εικόνα 5). Η τελευταία και πιο απότομη μεταβολή οφείλεται στη διοικητική μεταρρύθμιση Καλλικράτης που ενσωμάτωσε στο Δήμο Πατρέων τέσσερις μικρούς γειτονικούς δήμους. Αυτή η μεταβολή σημαίνει ότι ο Δήμος ανέλαβε και την ευθύνη ύδρευσης – αποχέτευσης των νέων περιοχών, που ως τώρα δεν είχαν καθόλου αποχετευτικό δίκτυο.



Εικόνα 5: Πληθυσμιακή ιστορία Πάτρας

4.3 Οικονομία

Το κυριότερο χαρακτηριστικό της πόλης είναι το πολυσύχναστο λιμάνι της που εξυπηρετεί την επιβατική και εμπορική κίνηση με την Ιταλία και την υπόλοιπη Δυτική Ευρώπη, γι' αυτό και η Πάτρα θεωρείται η δυτική πύλη της χώρας μας. Από το λιμάνι ξεκινά ένα σύγχρονο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων που συνδέει την Πάτρα με την Αθήνα και την υπόλοιπη Ελλάδα. Στο δίκτυο αυτό ανήκει και η γέφυρα του Ρίου – Αντιρρίου που συνδέει την Πάτρα με την Αιτωλοακαρνανία.

Οι υποδομές της πόλης περιλαμβάνουν το Πανεπιστήμιο Πατρών, δύο Γενικά Νοσοκομεία και δύο Ειδικά (Παιδών και Νοσημάτων Θώρακος), το Αρχαιολογικό μουσείο, το Παμπελοποννησιακό Στάδιο, το Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, το «Εργοστάσιο τέχνης», το Τεχνολογικό ινστιτούτο, τη Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) και το Βιομηχανικό Πάρκο.

Η ευρύτερη περιοχή της Πάτρας είναι αγροτική, ιδίως στα νοτιοδυτικά που υπάρχει εύφορη πεδιάδα. Κοντά στην πόλη καλλιεργούνται κυρίως ελιές, σπυροφόρα και αμπέλια. Από τα τελευταία παράγεται μια σειρά από οίνους με Προστατευόμενη Ονομασία Προελεύσεως εκ των οποίων τρεις είναι με Ονομασία Προέλευσης Ελεγχόμενη (Μαυροδάφνη Πατρών, Μοσχάτος Πατρών, Μοσχάτος Ρίου Πατρών) και ένας (Πάτρα) με Ονομασία Προέλευσης Ανωτέρας Ποιότητας (ΦΕΚ4976, 2018).

4.4 Υδατικές συνθήκες και υποδομές

Η Πάτρα βρίσκεται στη ζώνη Csa του κλιματικού συστήματος Köppen (Beck, 2018). Αυτό σημαίνει ότι το κλίμα της είναι εύκρατο, με ξηρά, θερμά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες. Έτσι, γενικά υπάρχει επάρκεια ύδατος αλλά χρειάζεται διαχείριση για να μπορούν να καλύπτονται οι εποχιακές διακυμάνσεις στις αρδευτικές ανάγκες αλλά κυρίως η τεράστια συγκεντρωμένη ζήτηση για την ύδρευση της πόλης. Χαρακτηριστικό πρόβλημα είναι η χειμαρρώδης ροή των επιφανειακών υδάτων προς τη θάλασσα και η απουσία φυσικών ταμιευτήρων. Αυτό κατέστησε αναγκαία την κατασκευή φραγμάτων για την κάλυψη των αναγκών. Έτσι έχουμε το φράγμα του Γλαύκου που κατασκευάστηκε το 1927, το οποίο καλύπτει ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και ηλεκτροπαραγωγής. Το δεύτερο φράγμα, του Πείρου – Παραπεύρου, χωρητικότητας 50 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων κατασκευάστηκε το 2021 για να λύσει το μεγάλο πρόβλημα ύδρευσης της Πάτρας. Τμήματα της πόλης τροφοδοτούνται και από τοπικές γεωτρήσεις (ΦΕΚ1004B, 2013). Η ετήσια κατανάλωση ύδατος είναι 25 εκατομμύρια κυβικά μέτρα.

Το αποχετευτικό δίκτυο της πόλης βρίσκεται υπό συνεχή επέκταση για να συμπεριλάβει και τις τελευταίες περιοχές που εξυπηρετούνται με βόθρους ή οχετούς που ρέουν απευθείας στη θάλασσα. Στόχος είναι όλος ο Δήμος να συνδέεται με την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. Παλαιότερο τμήμα του δικτύου που εξυπηρετεί το κέντρο είναι μικτής ροής (δηλαδή δέχεται και όμβρια) αλλά όλα τα νέα τμήματα είναι χωριστικά.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Πατρέων (ΕΕΛ Πατρών) έχει κατασκευαστεί στη θέση «Κόκκινος Μύλος» της παραλίας Πατρών σε χώρο έκτασης 80 στρεμμάτων (Εικόνα 6). Από αυτή την έκταση τα 50 στρέμματα καταλαμβάνονται από τις μονάδες επεξεργασίας και τα υπόλοιπα είναι κήποι και χλοοτάπητες, διαθέσιμα όμως για μελλοντικές επεκτάσεις της εγκατάστασης.

Η επιλεγείσα μέθοδος επεξεργασίας είναι η μέθοδος της ενεργού λύος με νιτροποίηση – απονιτροποίηση, βιολογική αποφωσφόρωση και σταθεροποίηση της παραγόμενης λύος. Επιπλέον προβλέπεται η δυνατότητα αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Πρωτοβάθμια καθίζηση προηγείται της βιολογικής βαθμίδας για την μείωση του οργανικού φορτίου και των ενεργειακών αναγκών αερισμού.

Η επεξεργασμένη εκροή διατίθενται στη θαλάσσια περιοχή του Πατραϊκού Κόλπου στη θέση «Κόκκινος Μύλος», σύμφωνα με τους όρους και περιορισμούς της με α.π. Ε2/οικ. 6464/30.3.1989 Απόφασης του Νομάρχη Αχαΐας. Συγκεκριμένα τα επεξεργασμένα λύματα εκβάλλουν στη θαλάσσια περιοχή σε βάθος περίπου 35 m μέσω αγωγού διάθεσης, του οποίου το χερσαίο τμήμα έχει μήκος 215 m, το υποθαλάσσιο τμήμα 975 m και του διαχυτήρα 108 m. Η οριστική άδεια διάθεσης των λυμάτων στη θάλασσα δόθηκε με το άρθρο 12 του Ν. 4014/2011 (ΦΕΚ 209 Α'). Η υπερχειλίση ασφαλείας (διάθεση της υπερβάλλουσας παροχής που υπερβαίνει τη

δυνατότητα του κύριου υποθαλάσσιου αγωγού διάθεσης) διατίθεται στην ίδια περιοχή με αγωγό μήκους 140 m.



Εικόνα 6: Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Δήμου Πατρέων (πηγή Google Earth)

4.5 Συνοπτική περιγραφή της υφιστάμενης γραμμής επεξεργασίας

Τα λύματα υφίστανται ένα πρώτο εσχарισμό προκειμένου να αφαιρεθούν τα μεγάλα στερεά και στη συνέχεια εισέρχονται στον θάλαμο υπερχείλισης ασφαλείας. Από το θάλαμο αυτό τα λύματα οδηγούνται σε αντλιοστάσιο για τοπική ανύψωση ώστε στη συνέχεια να οδηγηθούν στην κύρια γραμμή επεξεργασίας με βαρύτητα. Στη συνέχεια υφίστανται εσχάρωση όπου κατακρατούνται τα μεγαλύτερα των 10 mm στερεά. Οι εσχάρες είναι μηχανικού αυτοκαθαριζόμενου τύπου ενώ υπάρχουν παρακαμπτήριοι δίαυλοι ασφαλείας (BY PASS) με βοηθητικές απλές εσχάρες που καθαρίζονται από το εργατικό προσωπικό της εγκατάστασης.

Από το έργο εσχάρωσης τα λύματα οδηγούνται στον εξαμμωτή όπου γίνεται απομάκρυνση της άμμου και αφαίρεση των λιπών και των αφρών. Τα εσχарίσματα και η άμμος συλλέγονται σε κάδους και σε τακτά χρονικά διαστήματα οδηγούνται για απόρριψη στον ΧΥΤΑ ενώ τα υγρά στραγγίδια τους οδηγούνται στην έξοδο του μετρητή παροχής. Από τον εξαμμωτή τα λύματα οδηγούνται στον μετρητή παροχής.

Στη συνέχεια τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής από όπου κατανέμονται εξίσου στις λειτουργούσες δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Σε περίπτωση ηθελημένης παράκαμψης της βιολογικής βαθμίδας τα λύματα από το φρεάτιο

διανομής μπορούν να παροχετευτούν προς το φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού μέσω παρακαμπτηρίου αγωγού (BY PASS).

Στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης γίνεται αφαίρεση των στερεών περίπου κατά 60% και του βιοδοασπάσιμου οργανικού φορτίου (υπό μορφή στερεών) της τάξης του 30%. Τα λύματα που υπερχειλίζουν οδηγούνται στις δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι εφοδιασμένες με παρακαμπτήρια διάταξη προκειμένου να τροφοδοτούνται οι δεξαμενές αερισμού με λύματα "πλήρους φορτίου" όταν παρατηρείται έλλειψη άνθρακα για την διαδικασία της αφαίρεσης αζώτου.

Από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης η πρωτοβάθμια ιλύς μεταφέρεται στο σύστημα μηχανικής πάχυνσης (φυγοκέντριση) όπου η παχυμένη ιλύς μεταφέρεται στον αναερόβιο χωνευτή όπου υφίσταται αναερόβια χώνευση και σταθεροποίηση.

Στην δεξαμενή αερισμού τα λύματα υφίστανται συνδυασμένη βιολογική αερόβια και αναερόβια επεξεργασία για την αποικοδόμηση και αδρανοποίηση των οργανικών υλών καθώς και αζωτούχων και φωσφορούχων ρυπαντικών τους φορτίων με ταυτόχρονη σταθεροποίηση της ιλύος.

Τα λύματα ακολούθως οδηγούνται στις δεξαμενές τελικής καθίζησης όπου καθιζάνει η βιομάζα. Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας επανακυκλοφορεί προς τις δεξαμενές αερισμού για την διατήρηση σταθερού ποσοστού ενεργού ιλύος, μέσω του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας ιλύος, ενώ τα διαυγασμένα υγρά υπερχειλίζουν και οδηγούνται στην μονάδα απολύμανσης στην οποία χρησιμοποιείται διάλυμα διοξειδίου του χλωρίου για την καταστροφή των παθογόνων οργανισμών.

Μετά την απολύμανση τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού και διατίθενται στη θάλασσα. Μέρος της εκροής οδηγείται στη μονάδα παραγωγής βιομηχανικού ύδατος για επαναχρησιμοποίηση εντός της εγκατάστασης. Στόχος της μονάδας αυτής είναι η εξασφάλιση ύδατος για το πλύσιμο και την άρδευση της εγκατάστασης. Η επιλογή αυτή επιτυγχάνει εξοικονόμηση νερού και άμβλυση των δυνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η μονάδα περιλαμβάνει φίλτρο βαρύτητας από χαλαζιακή άμμο που τροφοδοτείται από δυο αντλίες αντίστοιχης δυναμικότητας, αντλίες και αεροσυμπιεστές έκπλυσης, ένα πιεστικό συγκρότημα για την τροφοδοσία του βιομηχανικού ύδατος στα σημεία κατανάλωσης (σχάρες, δίκτυο άρδευσης, κλπ.) και δεξαμενή αποθήκευσης, όγκου 50 m³.

Η πλεονάζουσα βιολογική ιλύς παροχετεύεται καθημερινώς μέσω του Αντλιοστασίου Περίσσειας Ιλύος προς πάχυνση και αναερόβια χώνευση. Το σύνολο της σταθεροποιημένης, μετά την χώνευση ιλύος υφίσταται αφυδάτωση και στη συνέχεια μεταφέρεται για τελική διάθεση στο ΧΥΤΑ του Δήμου Πατρέων. Τα υγρά στραγγίσεως της αφυδάτωσης επιστρέφουν με βαρύτητα σε ενδιάμεσο αντλιοστάσιο και από εκεί στην έξοδο της διώρυγας μέτρησης της παροχής, όπου ανακυκλοφορούνται στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Ολόκληρο το σύστημα επεξεργασίας ως προς την λειτουργία και τις μετρήσεις ελέγχεται κεντρικά από πλήρες ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού. Υπάρχει εγκατάσταση υποσταθμού για την λειτουργία της εγκατάστασης υπό μέση τάση ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος σαν σύστημα εφεδρείας. Λειτουργούν δύο συστήματα απόσμησης για τον καθαρισμό του αέρα των κτιρίων του τομέα προεπεξεργασίας και του τομέα επεξεργασίας λυός όπου εκλύονται οσμές. Τέλος υπάρχουν όλα τα έργα υποδομής (ύδρευση, αποχέτευση, όμβρια, ηλεκτροφωτισμός, τηλέφωνα, αντικεραυνική προστασία) καθώς και κατάλληλα κτιριακά έργα (κτίριο διοίκησης, χημείο, αποθήκες) για την εξυπηρέτηση της εγκατάστασης.

4.6 Περιβαλλοντικές προκλήσεις

Για την κάλυψη των τεράστιων υδρευτικών αναγκών της Πάτρας απαιτείται η εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων υδατικών πόρων πέριξ της πόλεως. Οι πόροι αυτοί όμως χρειάζονται και για την άρδευση των καλλιεργειών και έτσι δημιουργείται ένας ανταγωνισμός μεταξύ των χρήσεων. Η ανάγκη διατήρησης μιας ελάχιστης οικολογικής παροχής σε κάθε υδροσύστημα δημιουργεί έναν τρίτο παράγοντα ανταγωνισμού. Το πρόβλημα του ανταγωνισμού των χρήσεων συνήθως λύνεται με αξιοποίηση υδατικών πόρων σε όλο και μεγαλύτερη ακτίνα. Είναι όμως αυτό η σωστότερη λύση; Πόσο επιτρέπεται να πιέζουμε τα υδροσυστήματα με απολήψεις;

Στο μεταξύ η κατανάλωση όλου αυτού του ύδατος δημιουργεί ανάλογη ποσότητα αποβλήτων που δεσμεύουν με περιβαλλοντικές επιπτώσεις το χώρο στον οποίο διατίθενται. Για την άμβλυση των επιπτώσεων ο Δήμος της πόλης αναγκάστηκε να κατασκευάσει μια υπερσύγχρονη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων η οποία καθώς η πόλη μεγαλώνει πρέπει να επεκτείνεται και εκσυγχρονίζεται συνεχώς. Ως τότε θα μπορεί όμως να συνεχίζεται αυτό;

Το διπλό πρόβλημα της υδατικής επάρκειας και της προστασίας του περιβάλλοντος υπόσχεται να λύσει η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων, η οποία όμως ξεκινά από μια τεκμηριωμένη προμελέτη σκοπιμότητας. Στο επόμενο λοιπόν κεφάλαιο θα κάνουμε αυτή τη μελέτη αναζητώντας την καταλληλότερη λύση επεξεργασίας – επαναχρησιμοποίησης για την πόλη της Πάτρας με τη βοήθεια του DSS POSEIDON.

5. Το DSS POSEIDON

Το DSS POSEIDON είναι ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων το οποίο δημιουργήθηκε με σκοπό να προωθήσει την επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων (Oertle, 2019). Προορίζεται για χρήση στη φάση προμελέτης σκοπιμότητας, υποδεικνύοντας στους μελετητές τον οικονομικότερο συνδυασμό μονάδων επεξεργασίας. Δύναται επίσης να εκτιμήσει την απόδοση επεξεργασίας μιας δεδομένης εγκατάστασης. Τα απολύτως απαιτούμενα δεδομένα είναι τα ποσοτικά και τα οικονομικά. Επιθυμητή είναι η γνώση των ποιοτικών χαρακτηριστικών αλλά σε περίπτωση που δεν υπάρχουν ή δεν υπάρχουν όλα, η βάση δεδομένων περιέχει τα τυπικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων στην είσοδο και μετά από κάθε στάδιο επεξεργασίας. Περιέχονται επίσης όλες οι υφιστάμενες ποιοτικές προδιαγραφές για την εκροή και ο χρήστης επιλέγει μόνο τη χώρα και το είδος επαναχρησιμοποίησης που τον ενδιαφέρει. Μπορεί βεβαίως να ορίσει και τις δικές του προδιαγραφές εκροής. Το πρόγραμμα υπολογίζει το συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας κάθε δυνατού συνδυασμού και επιλέγει το οικονομικότερο. Το DSS POSEIDON και όλα τα σχετικά δεδομένα είναι ελεύθερης χρήσης και υπό συνεχή βελτίωση. Η εφαρμοζόμενη προσέγγιση επιτρέπει ακόμα και σε χρήστες με περιορισμένη εμπειρία να επιλέγουν το καταλληλότερο σύστημα για τη μελέτη τους. Διευκολύνοντας τις μελέτες, το DSS POSEIDON κάνει την ιδέα της επαναχρησιμοποίησης ελκυστικότερη.

5.1 Το υλικό του συστήματος

Η βάση δεδομένων του συστήματος περιέχει μια σειρά από διακριτές μονάδες επεξεργασίας (Πίνακας 7). Οι συνδυασμοί των μονάδων αυτών παράγουν τις γραμμές επεξεργασίας, με κριτήριο την παροχή, 12 ποιοτικά χαρακτηριστικά της εισροής, τα αντίστοιχα επιθυμητά χαρακτηριστικά της επεξεργασμένης εκροής, το κόστος κατασκευής και λειτουργίας κάθε συνδυασμού σε κλίμακα κύκλου ζωής και μια σειρά ποιοτικών κριτηρίων. Τα τελευταία είναι και το πιο δύσκολο σημείο των μελετών αυτών, μιας και εκεί είναι που εμπλέκονται οι μη τεχνικές παράμετροι του έργου.

Πίνακας 7: Μονάδες επεξεργασίας του DSS POSEIDON (Oertle, 2019).

Προεπεξεργασία
Ραβδωτή εσχάρα
Εσχάρα πλέγματος
Δεξαμενή εξισορρόπησης
Αμμοσυλλέκτης
Μη υποβοηθούμενη καθίζηση
Υποβοηθούμενη καθίζηση
Δευτεροβάθμια Επεξεργασία
Αναερόβια δεξαμενή σταθεροποίησης
Σύστημα ενεργού λύου υψηλής φόρτισης
Σύστημα ενεργού λύου χαμηλής φόρτισης με απονιτροποίηση
Σύστημα ενεργού λύου χαμηλής φόρτισης χωρίς απονιτροποίηση
Σύστημα παρατεταμένου αερισμού
Βιοαντιδραστήρας μεμβράνης (MBR)
Περιστρεφόμενος αντιδραστήρας επαφής (RBC)
Αερόβια λίμνες σταθεροποίησης
Επαμφοτερίζουσα λίμνη σταθεροποίησης
Σταλαγματικό φίλτρο με δευτεροβάθμια καθίζηση
Τριτοβάθμια επεξεργασία
Τεχνητός υγρότοπος
Φίλτρο ενεργού άνθρακα
Προηγμένη οξειδωση
Διυλιστήριο διπλού μέσου
Ηλεκτροδιάλυση
Ενισχυμένη βιολογική αφαίρεση φωσφόρου (EBPR)
Κροκίδωση
Ιοντοεναλλαγή
Λίμνη ωρίμανσης
Μικροδιήθηση
Νανοδιήθηση
Απονιτροποίηση
Καθίζηση φωσφόρου
Αντίστροφη όσμωση
Εδαφική διήθηση (Soil Aquifer Treatment)
Υπερδιήθηση
Απολύμανση
Αέριο χλώριο
Διοξείδιο του Χλωρίου
Όζον
Υπεριώδης ακτινοβολία

Οι γραμμές που μπορούν να προκύψουν από τους συνδυασμούς των παραπάνω μονάδων είναι πολυάριθμες, αλλά αναλόγως των διεργασιών και της εφαρμογής τους ομαδοποιούνται σε οκτώ κατηγορίες (Πίνακας 8).

Πίνακας 8: Βασικές κατηγορίες γραμμών επεξεργασίας

Κατηγορία
Συμβατική Τύπου 22 (Title 22)
Συμβατική με εδαφική διήθηση
Συμβατική με φυσική διαύγαση σε τεχνητούς υγροτόπους
Λίμνες επεξεργασίας
Απολύμανση (μόνο)
Διήθηση (μόνο)
Βιοαντιδραστήρας μεμβράνης
Λοιπές μέθοδοι για εκροή υψηλής ποιότητας

5.3 Μέθοδος λειτουργίας

Για την επιλογή γραμμής επεξεργασίας το σύστημα στηρίζεται στην εξής υπόθεση: κάθε μονάδα επεξεργασίας επιτυγχάνει ένα βαθμό αφαίρεσης κάποιων συγκεκριμένων ρύπων. Αναλόγως των δεδομένων εισροής και των απαιτούμενων χαρακτηριστικών εκροής, επιλέγεται η γραμμή που οι μονάδες της επιτυγχάνουν συνολικά τη ζητούμενη αφαίρεση.

Το σύστημα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ρύπων (Πίνακας 9) που δεν είναι όμως απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλοι.

Ο βαθμός αφαίρεσης κάθε μονάδας στην πράξη μπορεί να ποικίλουν, γι' αυτό και το σύστημα χρησιμοποιεί μια μέση τιμή με βάση τη βιβλιογραφική έρευνα και τις οδηγίες των ειδικών (Oertle, 2019). Το ίδιο συμβαίνει και με την κοστολόγηση αλλά ο στόχος είναι μια συγκριτική προσέγγιση μεταξύ των λύσεων και όχι ο προϋπολογισμός κάθε πρότασης.

Τα οικονομικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των μεθόδων είναι το κόστος της γης, του ηλεκτρισμού και της εργασίας. Η σχέση μεταξύ των τριών αυτών παραμέτρων μπορεί να επηρεάσει την καταλληλότητα κάθε μεθόδου. Για παράδειγμα αν κάπου έχουμε φθηνή γη και ακριβή ενέργεια υπερτερούν οι εκτατικές μέθοδοι ενώ όπου έχουμε ακριβή γη και φθηνή ενέργεια υπερτερούν οι εντατικές.

Πίνακας 9: Διαθέσιμες ποιοτικές παράμετροι του DSS POSEIDON

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	mg/L
Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	mg/L
Ολικός Οργανικός Άνθρακας	mg/L
Ολικό Άζωτο	mg/L
Ολικός Φώσφορος	mg/L
Νιτρικά	mg/L
Αιωρούμενα Στερεά	mg/L
Διαλυτά Στερεά	mg/L
Θολότητα	NTU
Ολικά Κολοβακτηρίδια	cfu/100 mL
Κολοβακτηρίδια Κοπράνων	cfu/100 mL
Ιοί	pfu/100 mL

Μόλις λοιπόν δοθεί η εντολή εκτέλεσης ενός σεναρίου, το DSS POSEIDON υπολογίζει για όλες τις γραμμές επεξεργασίας που υπάρχουν στη βάση δεδομένων του το βαθμό στον οποίο επιτυγχάνουν τη ζητούμενη αφαίρεση ρύπων. Ταυτόχρονα, αξιολογεί το καθένα από αυτά για ένα πλέγμα είκοσι κριτηρίων και επιλέγει αυτό που αξιοποιεί καλύτερα τους διαθέσιμους πόρους για την επίτευξη του στόχου επεξεργασίας. Η βαθμολογία δίνεται σε μονάδες, με άριστα τις τρεις μονάδες. Τέλος δίνει ένα κόστος επεξεργασίας ανά κυβικό μέτρο λυμάτων, το οποίο περιλαμβάνει και την απόσβεση των έργων κατασκευής.

5.3 Χρησιμότητα του DSS POSEIDON

Η χρήση του DSS POSEIDON στη διαδικασία παραγωγής τεχνικών έργων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης ύδατος, μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων κεφαλαίων και μέσων, αφού εξετάζονται και συγκρίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί τεχνολογιών επεξεργασίας, σύντομα και με μικρό κόστος.

Η λειτουργία του συστήματος είναι σχετικά απλή, εύληπτη και προσιτή σε στελέχη οργανισμών που δεν έχουν μελετητική εμπειρία, αλλά εφόσον θα συμμετάσχουν στη λήψη της τελικής απόφασης, θα πρέπει να έχουν μια αξιόπιστη υποστήριξη. Η ύπαρξη αυτής της υποστήριξης βοηθάει επίσης στο να γίνουν δημοφιλέστερα τα έργα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων και να επιταχυνθεί η κατασκευή τους αφού θα έχει αρθεί η πιθανή απροθυμία και αναβλητικότητα που χαρακτηρίζει τους αρμόδιους φορείς όταν φτάνει η στιγμή μιας δύσκολης απόφασης.

Το DSS POSEIDON εκτός από το σχεδιασμό νέων έργων προσφέρεται και για την αξιολόγηση υφιστάμενων κι αυτό με τη σειρά του ανοίγει το δρόμο για τη μελέτη και υλοποίηση παρεμβάσεων ώστε παλιές υποδομές να ανταποκριθούν σε νέους στόχους. Είναι κάτι που αφορά και την παρούσα εργασία, αφού η περιοχή που μελετάμε διαθέτει ήδη Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων αλλά προσεχώς καλείται να ανταποκριθεί σε αυξημένη παροχή και νέους τρόπους επαναχρησιμοποίησης της επεξεργασμένης εκροής της.

Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη γρηγορότερη ελάφρυνση του γεωπεριβάλλοντος από τη διάθεση ακαθάρτων υδάτων αστικής προέλευσης σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση όπου τα έργα μελετώνται με αργούς ρυθμούς, πολλές παράμετροι επιλέγονται μέσα σε κλίμα αβεβαιότητας και το ρίσκο μιας αναποτελεσματικής επιλογής είναι μεγάλο. Κι όταν όπως αντιλαμβάνεται κανείς, ένα έργο παρουσιάζει μεγάλο ρίσκο αποτυχίας, τότε οι αρμόδιοι φορείς λήψης αποφάσεων αποφεύγουν να επενδύσουν σ' αυτό.

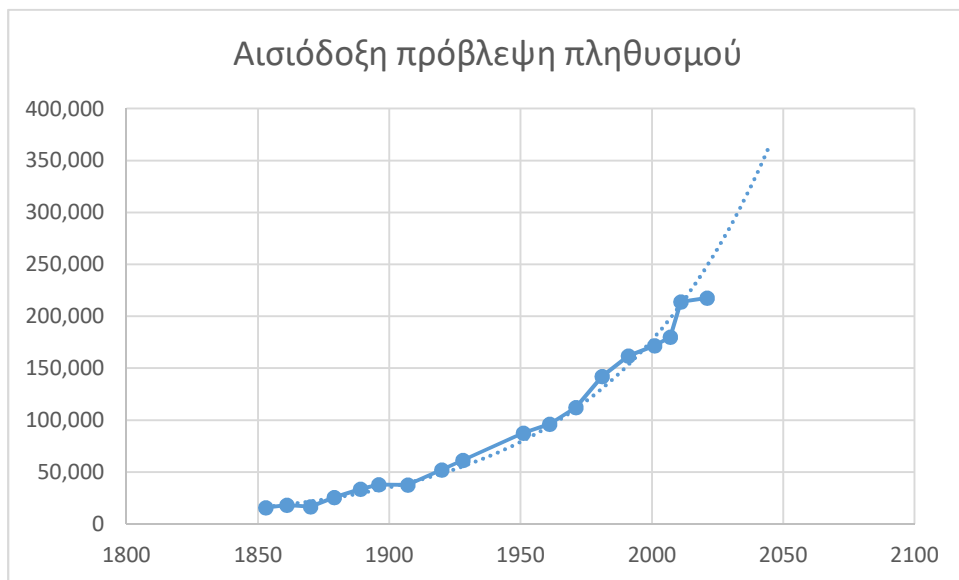
6. Εφαρμογή του DSS POSEIDON

6.1 Ποσοτικά και Οικονομικά δεδομένα σχεδιασμού

6.1.1 Παροχή

Η παροχή αστικών αποβλήτων της Πάτρας εξαρτάται από τη φυσική αύξηση του πληθυσμού της αλλά και από την επέκταση του αποχετευτικού δικτύου σε νέες περιοχές. Για τη μελλοντική εξέλιξη προβλέπονται δύο σενάρια, ένα αισιόδοξο (ως προς την ανάπτυξη της πόλης) και ένα απαισιόδοξο.

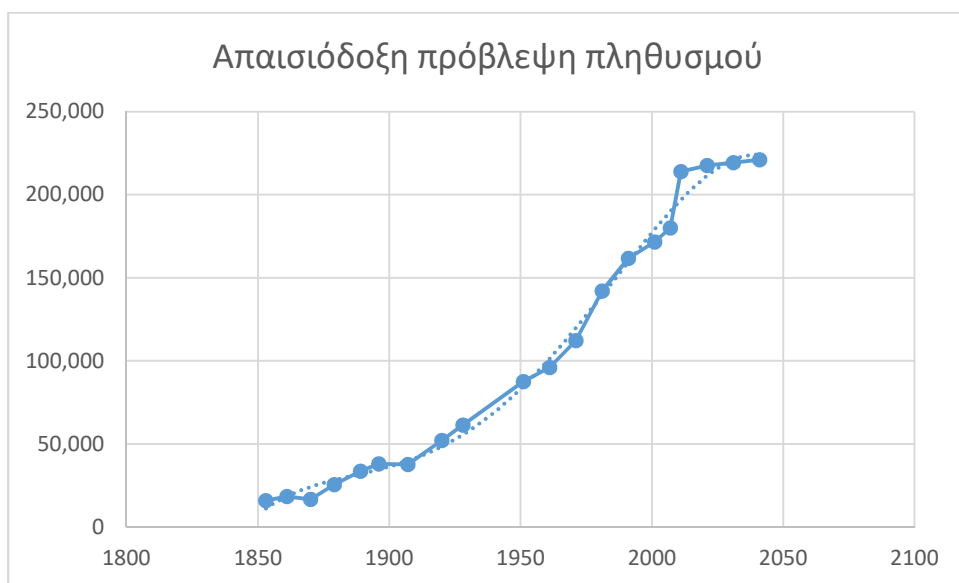
Σύμφωνα με το αισιόδοξο σενάριο ο πληθυσμός της πόλης θα συνεχίσει να αυξάνεται με τον ίδιο εκθετικό ρυθμό. Η πρόβλεψη αυτή στηρίζεται στο σκεπτικό ότι η σχετική στασιμότητα που έχουμε μεταξύ 2011 και 2021 οφείλεται στην οικονομική κρίση που έπληξε ολόκληρη τη χώρα μας. Ωστόσο, μετά από τον αιφνιδιασμό αυτό και τη συνειδητοποίηση των προβλημάτων, άρχισε ένας οικονομικός μετασχηματισμός, ο οποίος θα ξεκινήσει και πάλι να δημιουργεί θέσεις εργασίας και να προσελκύει νέους κατοίκους. Και οι νέες περιοχές που μόλις ενσωματώθηκαν ως αραιοκατοικημένα προάστια μπορεί τα επόμενα χρόνια να έχουν εξελιχθεί σε πυκνοκατοικημένες συνοικίες. Σύμφωνα με το σενάριο αυτό το 2045 ο πληθυσμός της πόλης αναμένεται να έχει φτάσει τους 360,000 κατοίκους (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Αισιόδοξη πρόβλεψη πληθυσμού

Σύμφωνα με το απαισιόδοξο σενάριο η Πάτρα έχει εισέλθει σε κορεσμό και η αύξηση του πληθυσμού πλέον θα είναι οριακή. Παρά τις σύγχρονες υποδομές και την υψηλή ποιότητα ζωής που προσφέρει η πόλη, οι οικονομικές συνθήκες δεν θα

προσελκύσουν νέους κατοίκους. Μάλιστα νέες πρακτικές όπως η τηλεεργασία και η τηλεεκπαίδευση, μπορεί να αλλάξουν ριζικά την ίδια τη θεωρία της εξέλιξης των πόλεων. Για αυτό το σενάριο η πρόβλεψη θα γίνει με τη μέθοδο του μειούμενου ρυθμού ανάπτυξης με τον οποίο το 2045 ο πληθυσμός θα είναι 225,000 κάτοικοι (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Απαισιόδοξη πρόβλεψη πληθυσμού

Η παροχή που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο είναι 160 L/d. Έτσι με το απαισιόδοξο σενάριο έχουμε ημερήσια παροχή 36000 m³ και με το αισιόδοξο 57600 m³. Στη μελέτη μας θα εφαρμόσουμε και τα δύο σενάρια. Η πρόβλεψη του απαισιόδοξου σεναρίου θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό της Φάσης Α' του έργου και η πρόβλεψη του αισιόδοξου σεναρίου θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό της Φάσης Β'.

Στην περίπτωση που οι δύο προτεινόμενες γραμμές επεξεργασίας ή κάποιες από τις μονάδες τους ταυτίζονται, τότε για τα κατασκευαστικά έργα θα εφαρμοστούν οι διαστάσεις του αισιόδοξου σεναρίου και για το μηχανολογικό εξοπλισμό οι διαστάσεις του απαισιόδοξου σεναρίου. Αυτό θα το κάνουμε επειδή τα κατασκευαστικά έργα δεν θα κοστίσουν πολύ περισσότερο αν υπερδιαστασιοποιηθούν, θα είναι όμως πολύ δύσκολο να βρεθεί χώρος και να κατασκευαστούν εκ των υστέρων αν τελικά το σενάριο επαληθευτεί. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός όμως δεν πρέπει να τοποθετηθεί αν δεν χρειάζεται άμεσα γιατί κάθε στιγμή που μένει αχρησιμοποίητος χάνει μέρος της αξίας του. Έτσι θα σχεδιασθεί με βάση το απαισιόδοξο σενάριο και αν προκύψουν μεγαλύτερες ανάγκες, απλά θα γίνει προσθήκη επιπλέον μηχανημάτων.

6.1.2 Κόστος Γης

Η Πάτρα είναι χτισμένη στη βόρεια πλευρά της περίπου ημικυκλικής λεκάνης του Γλαύκου, μεταξύ της ακτής του Πατραϊκού κόλπου και του Παναχαϊκού όρους. Στα βόρεια μια στενή πυκνοκατοικημένη λωρίδα συνεχίζεται μέχρι το Ακρωτήριο του Ρίου αλλά νοτίως του Γλαύκου το υπόλοιπο της λεκάνης είναι αραιοκατοικημένο με αρκετές γεωργικές εκτάσεις μεταξύ των οικισμών.

Λόγω της συγκεκριμένης τοπογραφίας, η ιδανική θέση για μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι κοντά στις εκβολές του Γλαύκου. Εξάιρεση αποτελεί η παραλιακή λωρίδα, ειδικά το βόρειο τμήμα του Ρίου, από τα οποία φυσική ροή μπορεί να υπάρξει μόνο απευθείας στη θάλασσα. Αυτή η ιδιομορφία απαιτεί την κατασκευή Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού κατά μήκος της παραλίας και αντλιοστάσιο για την προσαγωγή των λυμάτων μέχρι την είσοδο της εγκατάστασης.

Μια έκταση 80 στρεμμάτων στην περιοχή Κόκκινος Μύλος, κοντά στις εκβολές του Γλαύκου χρησιμοποιείται ήδη από τη ΔΕΥΑΠ για επεξεργασία λυμάτων η οποία κόστισε 2.9 εκατομμύρια ευρώ τα οποία αντιστοιχούν σε 362500 €/ha (ΔΕΥΑΠ, 2001). Το μέγεθος της έκτασης αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν σχεδιαστικός περιορισμός στη μελέτη μας.

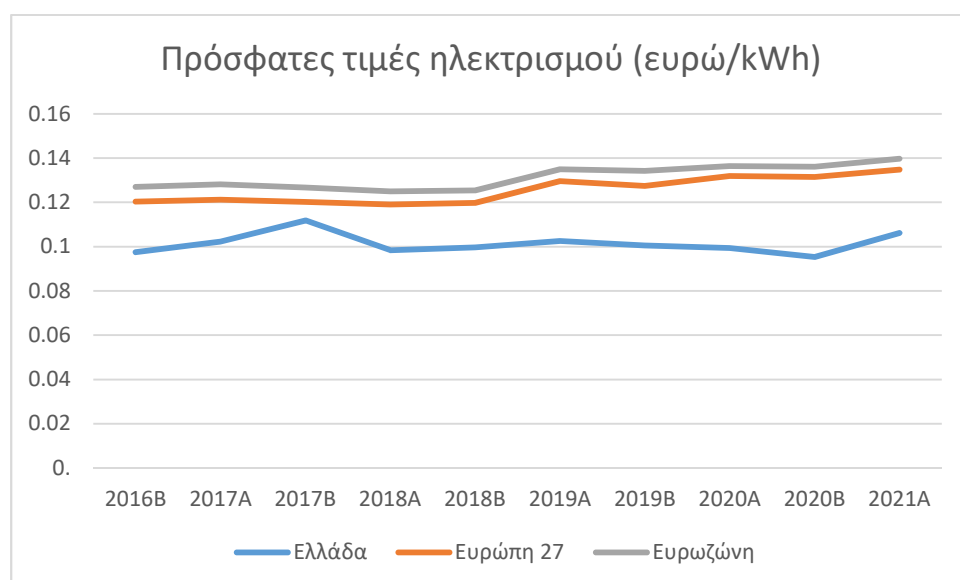
6.1.3 Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνεται από το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων παραγωγής και των δικτύων διανομής, το κόστος των ορυκτών καυσίμων, τις καιρικές συνθήκες αν πρόκειται για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τους φόρους, τις επιδοτήσεις και το τέλος εκπομπής CO₂. Εξαρτάται επίσης από τη σχέση προσφοράς και ζήτησης και το ρυθμιστικό πλαίσιο της κάθε αγοράς.

Η πρόγνωση των τιμών σε βάθος αρκετών ετών, για χρήση στο σχεδιασμό έργων στηρίζεται στην ανάλυση δεδομένων από το παρελθόν σε συνδυασμό και με αντικειμενικά κριτήρια. Για τις ανάγκες της μελέτης μας χρησιμοποιήσαμε δεδομένα τελευταίων ετών όσον αφορά το κόστος μη οικιακών καταναλωτών για ετήσιες καταναλώσεις μεταξύ 2000 και 20000 MWh (Πίνακας 10). Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία πέντε χρόνια δείχνουν μια σταθερότητα γύρω στα 0.1 €/kWh (Εικόνα 9).

Πίνακας 10: Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας (European Commission, 2018)

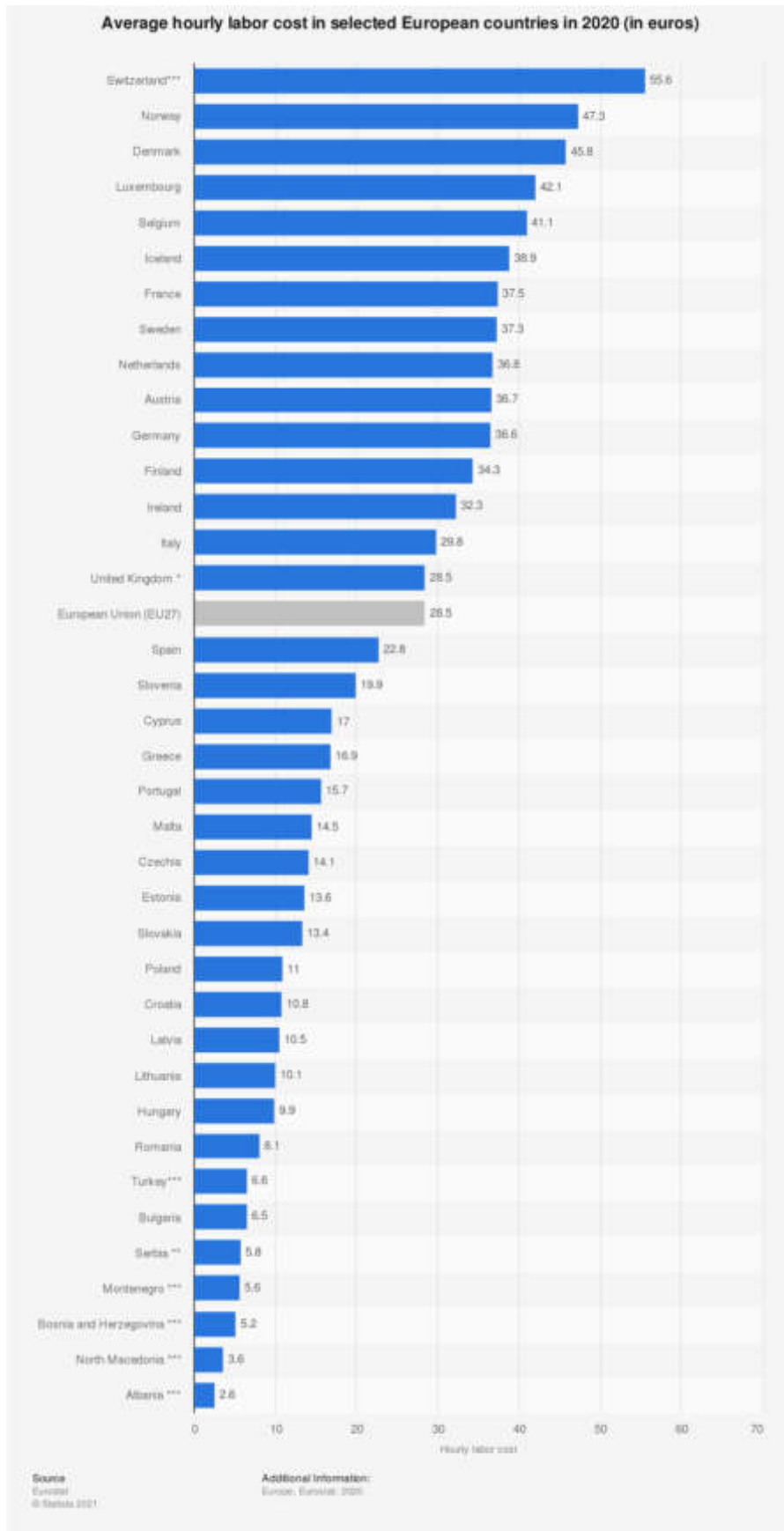
Έτος	Τιμή Ελλάδας (€/kWh)	Μέση Τιμή Ευρωζώνης (€/kWh)	Μέση Τιμή Ευρώπης 27 (€/kWh)
2016B	0.0975	0.1270	0.1204
2017A	0.1023	0.1281	0.1212
2017B	0.1118	0.1267	0.1202
2018A	0.0983	0.1249	0.1191
2018B	0.0997	0.1254	0.1198
2019A	0.1026	0.1349	0.1296
2019B	0.1006	0.1342	0.1274
2020A	0.0994	0.1364	0.1319
2020B	0.0954	0.1361	0.1314
2021A	0.1061	0.1397	0.1348



Εικόνα 9: Εξέλιξη τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε Ελλάδα, Ευρώπη των 27 και Ευρωζώνη

6.1.4 Κόστος προσωπικού

Για το κόστος των εργαζομένων στην εγκατάσταση θεωρούμε ως τιμή αναφοράς την ωριαία αμοιβή που ισχύει αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα. Η τιμή αυτή είναι 16.9 €/h (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Ωριαία αποζημίωση εργασίας σε ευρωπαϊκή κλίμακα (Eurostat, Average hourly cost in selected european countries in 2020 (euros), 2021)

6.1.5 Ισοτιμία νομίσματος με το δολάριο

Το DSS POSEIDON είναι προγραμματισμένο να χρησιμοποιεί ως νόμισμα το δολάριο Ηνωμένων Πολιτειών. Άρα όλα τα δεδομένα που συγκεντρώσαμε σε ευρώ, πριν εισαχθούν πρέπει να μετατραπούν σε δολάρια. Η μετατροπή έγινε με βάση την μέση ισοτιμία του 2021 που ήταν 1.142 δολάρια.

6.1.6 Συντελεστής προεξόφλησης

Ο συντελεστής προεξόφλησης (discount rate) εκφράζει το κόστος ευκαιρίας ενός επενδυτή, που σημαίνει με άλλα λόγια τι θα μπορούσε να κερδίσει επενδύοντας τα ίδια χρήματα σε κάτι άλλο. Το κόστος ευκαιρίας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση ενός επενδυτή βάσει του σχετικού κινδύνου που αναλαμβάνει (FinanceSkills, 2020).

Υψηλότερος συντελεστής προεξόφλησης σημαίνει υψηλότερο κίνδυνο αλλά ταυτόχρονα και υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση της επένδυσης. Χαμηλότερος συντελεστής προεξόφλησης σημαίνει χαμηλότερο κίνδυνο και χαμηλότερη αναμενόμενη απόδοση της επένδυσης.

Επίσης όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής προεξόφλησης, τόσο χαμηλότερη αποτίμηση προκύπτει και αντίστροφα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αν ο συντελεστής προεξόφλησης είναι υψηλός, τότε αυτό σημαίνει ότι ο επενδυτής έχει καλύτερες εναλλακτικές για άλλες επενδύσεις

Ο συντελεστής προεξόφλησης ισούται με το επιτόκιο μείον τον πληθωρισμό. Τα τελευταία χρόνια βρίσκεται σε μια φθίνουσα πορεία και είναι περίπου μηδέν (IndexMundi, 2020).

6.2 Ποιοτικά δεδομένα σχεδιασμού

Το DSS POSEIDON διαθέτει στη βάση δεδομένων του τυπικές συγκεντρώσεις ρύπων για πέντε κατηγορίες ανεπεξέργαστων λυμάτων, ταξινομημένες με ποιοτικά κριτήρια: πολύ κακή, κακή, μέτρια, καλή και άριστη ποιότητα. Αυτές οι επιλογές εξυπηρετούν την περίπτωση που δεν διατίθενται μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η διαβάθμιση εξυπηρετεί και τις μελέτες συμπλήρωσης μιας υφιστάμενης εγκατάστασης με επιπλέον μονάδες ή για τις μελέτες αντικατάστασης ορισμένων μόνο μονάδων επεξεργασίας. Για τις περιπτώσεις που διατίθενται δεδομένα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη δυνατότητα εισαγωγής τους.

Σύμφωνα με μετρήσεις της ΔΕΥΑΠ, τα Ολικά Αιωρούμενα Στερεά στα λύματα της Πάτρας είναι 400 mg/L.

Η ημερήσια παραγωγή BOD₅ είναι 60 g ανά κάτοικο. Αν η ημερήσια παραγωγή λυμάτων είναι 160 L, τότε η συγκέντρωση BOD₅ είναι 375 mg/L.

Το COD των λυμάτων της Πάτρας είναι 400 mg/L.

Στα λύματα της Πάτρας το ολικό άζωτο είναι 65 mg/L.

Στα λύματα της Πάτρας ο ολικός φώσφορος είναι 13 mg/L.

6.3 Ποιοτικές απαιτήσεις επεξεργασμένης εκροής

Το τελευταίο στοιχείο που χρειάζεται το DSS POSEIDON για να εκτελέσει την επίλυση είναι τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της επεξεργασμένης εκροής. Η βάση δεδομένων προσφέρει και εδώ την επιλογή των προαναφερθέντων τυπικών χαρακτηριστικών (πολύ κακή, κακή, μέτρια, καλή, άριστη). Επίσης μας προσφέρει έτοιμες τις σειρές ποιοτικών προδιαγραφών εκροής πέντε αμερικανικών κρατών (Ηνωμένες Πολιτείες, Βραζιλία, Χιλή, Αργεντινή, Μεξικό), του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization) και μιας σύμπραξης ευρωπαϊκών ερευνητικών φορέων υπό το όνομα AQUAREC. Οι σειρές αυτές καλύπτουν όλο το φάσμα των μεθόδων επαναχρησιμοποίησης. Τέλος παρέχεται στο χρήστη και η δυνατότητα να ορίσει τα δικά του ποιοτικά χαρακτηριστικά, πράγμα που θα πράξουμε και εμείς στη μελέτη μας. Επειδή όμως η βέλτιστη μέθοδος επαναχρησιμοποίησης για μας δεν είναι δεδομένο αλλά ένα από τα βασικά ζητούμενα, θα εκτελέσουμε τους υπολογισμούς για όλες τις μεθόδους επαναχρησιμοποίησης. Έτσι λοιπόν πρέπει να δημιουργήσουμε σειρές προδιαγραφών για όλες τις επιλέξιμες μεθόδους.

Οι προδιαγραφές που ισχύουν στην Ελλάδα για την επαναχρησιμοποίηση δίνονται στο σχετικό νόμο (ΦΕΚ354, 2011). Για την επιλογή της διάθεσης στη θάλασσα οι οδηγίες είχαν δοθεί παλαιότερα (ΦΕΚ192, 1997). Για τη διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων στον Πατραϊκό κόλπο που δεν έχει χαρακτηριστεί ευπαθής στον ευτροφισμό (ΦΕΚ1811, 1999) και (ΦΕΚ405, 2002) ισχύουν οι εξής διατάξεις:

Αιωρούμενα Στερεά: 35 mg/L

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών: 25 mg/L

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: 125 mg/L

Οι οδηγίες αυτές αναθεωρήθηκαν με οικεία Νομαρχιακή Απόφαση (ΑΕΠΟ175134, 2014) η οποία προσέθεσε και τα εξής όρια:

Ολικό Άζωτο: 15 mg/L

e-coli: 500 άτομα /100 mL

6.4 Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας

Οι προαναφερθείσες μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης έχουν μια διαβάθμιση ως προς τις ποιοτικές προδιαγραφές της επεξεργασμένης εκροής (Πίνακας 11).

Πίνακας 11: Προδιαγραφές επεξεργασμένης εκροής ανά είδος επαναχρησιμοποίησης

	Θολότητα	TSS	BOD ₅	COD	TN	TP	FC
Ανεπεξέργαστα Λύματα	100	400	375	400	65	13	10⁷
Περιορισμένος εμπλουτισμός		35	25	125	45		200
Περιορισμένη άρδευση		35	25	125	45		200
Περιορισμένη βιομηχανική		35	25	125	45		200
Διάθεση στον Πατραϊκό		35	25	125	15	10	500
Απεριόριστη άρδευση	2	10	10	125	45		5
Απεριόριστη βιομηχανική	2	10	10	125	45		5
Απεριόριστος εμπλουτισμός	2	2	10	125	15		2
Απεριόριστη Αστική χρήση	2	2	10	125	15		2

Με αρχική τιμή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων λυμάτων μπορεί να υπολογιστεί ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας ανά ρύπο και χρήση (Πίνακας 12).

Πίνακας 12: Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας ανά ρύπο και είδος επαναχρησιμοποίησης.

	Θολότητα	TSS	BOD ₅	COD	TN	TP	FC
Περιορισμένος εμπλουτισμός		91.3%	93.3%	68.8%	30.8%	0.0%	100%
Περιορισμένη άρδευση		91.3%	93.3%	68.8%	30.8%	0.0%	100%
Περιορισμένη βιομηχανική		91.3%	93.3%	68.8%	30.8%	0.0%	100%
Διάθεση στον Πατραϊκό		91.3%	93.3%	68.8%	76.9%	23.1%	100%
Απεριόριστη άρδευση	98.0%	97.5%	97.3%	68.8%	30.8%	0.0%	100%
Απεριόριστη βιομηχανική	98.0%	97.5%	97.3%	68.8%	30.8%	0.0%	100%
Απεριόριστος εμπλουτισμός	98.0%	99.5%	97.3%	68.8%	76.9%	0.0%	100%
Απεριόριστη Αστική χρήση	98.0%	99.5%	97.3%	68.8%	76.9%	0.0%	100%

Με βάση τις παροχές σχεδιασμού διαμορφώνονται δύο βασικά σενάρια που αντιστοιχούν στις δύο φάσεις σχεδιασμού του έργου: την α' φάση και τη β' φάση. Η α' φάση αφορά τις συνθήκες που επικρατούν σήμερα και πιθανότατα να συνεχίσουν να επικρατούν έως το τέλος της ζωής του έργου. Η β' φάση αφορά τις συνθήκες που θα διαμορφωθούν προς το τέλος της ζωής του έργου αν επαληθευτεί το σενάριο της αύξησης του πληθυσμού. Σε κάθε περίπτωση η πρόβλεψη της β' φάσης καλό είναι να χρησιμοποιηθεί για την εξασφάλιση επαρκών χώρων και πιθανώς την κατασκευή ορισμένων βασικών υποδομών.

Στα σενάρια των δύο φάσεων διαμορφώνονται τέσσερις υποπεριπτώσεις που αντιστοιχούν στις ομάδες μεθόδων επαναχρησιμοποίησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Για λόγους σύγκρισης δημιουργήσαμε και τη γραμμή της υφιστάμενης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων η οποία σε κάθε εκτέλεση συναξιολογήθηκε.

7. Αποτελέσματα – Συζήτηση

7.1 Επιλογή γραμμών επεξεργασίας

Τα δεδομένα για τα οκτώ σενάρια που διαμορφώθηκαν εισήχθησαν στο DSS POSEIDON για επεξεργασία και μας έδωσαν την αξιολόγηση διαφόρων γραμμών επεξεργασίας για μια σειρά από παραμέτρους. Από αυτές επιλέξαμε για κάθε σενάριο ως καταλληλότερη αυτή με το μικρότερο κόστος ανά κυβικό μέτρο εκροής (Πίνακες 13 – 20). Για σύγκριση σε κάθε πίνακα αναγράφεται για τις ίδιες παραμέτρους και η αξιολόγηση της υφιστάμενης γραμμής της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων της Πάτρας.

Σύμφωνα με το DSS το ανηγμένο κόστος λειτουργίας της ΕΕΛ Πάτρας είναι 0.4 €/m³.

Η γραμμή που το DSS POSEIDON μας προτείνει για τα έξι πρώτα σενάρια ως οικονομικότερη είναι η λεγόμενη «Title 22: USA I» που φέρει αυτή την ονομασία από τον ομώνυμο κανονισμό επεξεργασίας λυμάτων που ισχύει στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Η γραμμή αυτή είναι ένα σύστημα ενεργού ιλύος, εξοπλισμένο όμως με ορισμένες επιπλέον μονάδες. Έχει ανηγμένο λειτουργικό κόστος 0.3 €/m³, εξοικονομώντας έτσι ένα ποσό της τάξης του 0.1 €/m³ σε σχέση με το τρέχον σύστημα επεξεργασίας. Το κυριότερο όμως είναι ότι με αυτό το κόστος, η γραμμή αυτή επιτυγχάνει πολύ ανώτερους στόχους επεξεργασίας, καλύπτοντας και τις προδιαγραφές της απεριόριστης επαναχρησιμοποίησης σε άρδευση. Για παράδειγμα η συγκέντρωση ολικού αζώτου στην εκροή της κυμαίνεται από 0.04 ως 9.39 mg/L, καλύπτοντας με άνεση το όριο των 15 mg/L.

Για τις χρήσεις που απαιτούν υψηλό βαθμό καθαρότητας το DSS POSEIDON για τα δύο πληθυσμιακά σενάρια Α' & Β', προτείνει δύο προχωρημένες μεθόδους ανεπτυγμένες στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο Βέλγιο αντίστοιχα. Η βασική μονάδα επεξεργασίας είναι και πάλι το σύστημα ενεργού ιλύος με πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση, συμπληρωμένο όμως με επιπλέον μονάδες τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Έτσι διαμορφώνονται δύο μακριές αλυσίδες σταδίων διήθησης. Ειδικά στη μέθοδο του Βελγίου που προτείνεται για το Β' σενάριο των 360,000 κατοίκων περιλαμβάνονται και τρία ανεξάρτητα στάδια απολύμανσης. Τελευταίο στάδιο και των δύο γραμμών είναι η διάθεση σε εδαφικό φίλτρο, μέσα από το οποίο η εκροή τελικά καταλήγει στα υπόγεια ύδατα, από τα οποία μπορεί να αντληθεί για να επαναχρησιμοποιηθεί. Οι μονάδες που αποτελούν τις γραμμές αυτές διαμορφώνουν κόστος 1.2 €/m³.

Πίνακας 13: Φάση Α' – Περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	Title 22: USA I	ΕΕΛ Πάτρας
TSS εκροής	mg/L	5.6	27.7
BOD ₅ εκροής	mg/L	7.4	20.2
COD εκροής	mg/L	16.6	39.9
TN εκροής	mg/L	9.4	19.8
TP εκροής	mg/L	3.1	0.4
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	1663.2	1653.2
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	175.1	187.6
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.5	0.6
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	821.5	745.0
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	16430.0	14899.8
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	15.9	14.6
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.8	0.7
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	1765.0	2398.3
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	4440.7	4998.6
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	12878.5	12878.5
Κόστος / m ³	€/m ³	0.3	0.4

Πίνακας 14: Φάση Β' – Περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	Title 22: USA I	ΕΕΛ Πάτρας
TSS εκροής	mg/L	5.6	27.7
BOD ₅ εκροής	mg/L	7.4	20.2
COD εκροής	mg/L	16.6	39.9
TN εκροής	mg/L	9.4	19.8
TP εκροής	mg/L	3.1	5.6
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	2272.5	2252.2
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	271.3	292.4
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.8	0.9
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	1314.4	1192.1
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	26287.4	23841.3
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	17.1	15.7
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.9	0.8
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	2649.4	3501.8
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	6524.7	7254.2
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	20605.6	20605.6
Κόστος / m ³	€/m ³	0.3	0.4

Πίνακας 15: Φάση Α' – Διάθεση στη θάλασσα

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	Title 22: USA I	ΕΕΛ Πάτρας
TSS εκροής	mg/L	5.6	27.7
BOD ₅ εκροής	mg/L	7.4	20.2
COD εκροής	mg/L	16.6	39.9
TN εκροής	mg/L	9.4	19.8
TP εκροής	mg/L	3.1	5.6
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	1663.2	1653.2
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	175.1	187.6

Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.5	0.6
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	821.5	745.0
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	16430.0	14899.8
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	15.9	14.6
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.8	0.7
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	1765.0	2398.3
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	4440.7	4998.6
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	12878.5	12878.5
Κόστος / m ³	€/m ³	0.3	0.4

Πίνακας 16: Φάση Β' – Διάθεση στη θάλασσα

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	Title 22: USA I	ΕΕΛ Πάτρας
TSS εκροής	mg/L	5.6	27.7
BOD ₅ εκροής	mg/L	7.4	20.2
COD εκροής	mg/L	16.6	39.9
TN εκροής	mg/L	9.4	19.8
TP εκροής	mg/L	3.1	5.6
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	2272.5	2252.2
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	271.3	292.4
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.8	0.9
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	1314.4	1192.1
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	26287.4	23841.3
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	17.1	15.7
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.9	0.8
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	2649.4	3501.8
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	6524.7	7254.2
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	20605.6	20605.6
Κόστος / m ³	€/m ³	0.3	0.4

Πίνακας 17: Φάση Α' – Απεριόριστη χρήση

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	Title 22: USA I	ΕΕΛ Πάτρας
TSS εκροής	mg/L	5.6	27.7
BOD ₅ εκροής	mg/L	7.4	20.2
COD εκροής	mg/L	16.6	39.9
TN εκροής	mg/L	9.4	19.8
TP εκροής	mg/L	3.1	5.6
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	1663.2	1653.2
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	175.1	187.6
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.5	0.6
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	821.5	745.0
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	16430.0	14899.8
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	15.9	14.6
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.8	0.7
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	1765.0	2398.3
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	4440.7	4998.6
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	12878.5	12878.5
Κόστος / m ³	€/m ³	0.3	0.4

Πίνακας 18: Φάση Β' – Απεριόριστη χρήση

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	Title 22: USA I	ΕΕΛ Πάτρας
TSS εκροής	mg/L	5.6	27.7
BOD ₅ εκροής	mg/L	7.4	20.2
COD εκροής	mg/L	16.6	39.9
TN εκροής	mg/L	9.4	19.8
TP εκροής	mg/L	3.1	5.6
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	2272.5	2252.2
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	271.3	292.4
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.8	0.9
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	1314.4	1192.1
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	26287.4	23841.3
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	17.1	15.7
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.9	0.8
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	2649.4	3501.8
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	6524.7	7254.2
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	20605.6	20605.6
Κόστος / m ³	€/m ³	0.3	0.4

Πίνακας 19: Φάση Α' – Απεριόριστος εμπλουτισμός, Αστική χρήση

Κριτήριο	Μονάδα μέτρησης	ΕΕΛ Πάτρας	High quality: USA II
TSS εκροής	mg/L	27.7	0.2
BOD ₅ εκροής	mg/L	20.2	0.2
COD εκροής	mg/L	39.9	0.3
TN εκροής	mg/L	19.8	4.8
TP εκροής	mg/L	5.6	0.4
Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	1653.2	2123.9
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	187.6	156.3
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.6	0.5
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	745.0	3821.7
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	14899.8	76434.5
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	14.6	32.5
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.7	1.6
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	2398.3	5313.2
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	4998.6	11447.6
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	12878.5	9272.5
Κόστος / m ³	€/m ³	0.4	1.2

Πίνακας 20: Φάση Β' – Απεριόριστος εμπλουτισμός, Αστική χρήση

Κριτήριο	Μονάδα μέτρ.	ΕΕΛ Πάτρας	High quality: Belgium
TSS εκροής	mg/L	27.7	0.2
BOD ₅ εκροής	mg/L	20.2	0.9
COD εκροής	mg/L	39.9	1.0
TN εκροής	mg/L	19.8	1.7
TP εκροής	mg/L	5.6	0.4

Ανηγμένο Κόστος Κεφαλαίου	1000 €/year	2252.2	4469.8
Ανηγμένο Κόστος Γης	1000 €/year	292.4	345.8
Απαιτούμενη Έκταση	ha	0.9	1.0
Κόστος Ενέργειας	1000 €/year	1192.1	4311.4
Απαιτούμενη Ενέργεια	kWh/year	23841.3	86228.6
Κόστος Εργασίας	1000 €/year	15.7	37.3
Απαιτούμενη Εργασία	ph/month	0.8	1.9
Λοιπά Κόστη	1000 €/year	3501.8	7626.8
Ανηγμένο Κόστος	1000 €/year	7254.2	16791.2
Ανακτημένη Εκροή	1000 m ³ /year	20605.6	14011.8
Κόστος / m ³	€/m ³	0.4	1.2

7.2 Μονάδες επεξεργασίας

Οι μονάδες επεξεργασίας που αποτελούν τις παραπάνω γραμμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21: Προτεινόμενες γραμμές επεξεργασίας

ΕΕΛ Πάτρας	Title 22: USA I	High quality: USA II	High quality: Belgium
Εσχάρα		Εσχάρα	Εσχάρα
Δεξαμενή εξισσορόπησης			
Αμμοσυλλέκτης		Αμμοσυλλέκτης	Αμμοσυλλέκτης
Πρωτοβάθμια καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση
Σύστημα ενεργού ιλύος με απονιτροποίηση	Σύστημα ενεργού ιλύος με απονιτροποίηση	Σύστημα ενεργού ιλύος χωρίς απονιτροποίηση	Σύστημα ενεργού ιλύος με απονιτροποίηση
Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου	Ενίσχυση απονιτροποίησης με μεθανόλη	Μικροδιήθηση	Απολύμανση με Cl ₂
Απολύμανση με ClO ₂	Κατακρήμνηση φωσφόρου	Αντίστροφη Ώσμωση	Υπερδιήθηση
	Διυλιστήριο διπλού φίλτρου	Απολύμανση με Όζον	Απολύμανση με ClO ₂
	Απολύμανση με ClO ₂	Εδαφικό Φίλτρο	Αντίστροφη Ώσμωση
			Απολύμανση με UV
ΕΕΛ Πάτρας			Εδαφικό Φίλτρο

7.3 Η γραμμή Title 22: USA I

Το προτεινόμενο για τα έξι από τα οκτώ σενάρια σύστημα, είναι ένα σύστημα ενεργού ιλύος και ακολουθεί το Πρότυπο 22 των Ηνωμένων Πολιτειών. Πρόκειται για σύστημα εντατικής επεξεργασίας που ενδείκνυται για πόλεις που έχουν έλλειψη σε χώρους και δεν μπορούν να κατασκευάσουν δεξαμενές παρατεταμένης παραμονής των λυμάτων. Πολύπλοκος εξοπλισμός και σημαντική κατανάλωση ενέργειας επιταχύνουν τις διεργασίες και παράγουν εκροή εγγυημένης ποιότητας.

Τα προτεινόμενα σύστημα χαρακτηρίζεται για την ευελιξία του στο να επιτυγχάνει και μάλιστα ταυτόχρονα, μια ποικιλία στόχων εκροής και έτσι δεν δεσμεύει τους χρήστες σε μια συγκεκριμένη μέθοδο επαναχρησιμοποίησης. Θα μπορούσε να αποτελέσει πρόταση για την εξέλιξη της εγκατάστασης η οποία να σημειωθεί ότι ακολουθεί μια παραλλαγή του Προτύπου 22 και οι βασικές μονάδες είναι ίδιες.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι η προτεινόμενη γραμμή μπορεί να πετύχει πολύ υψηλές αποδόσεις για όλους τους ζητούμενους ρύπους. Ταυτόχρονα, μπορεί να ανταποκριθεί τέλεια και σε συνθήκες μειωμένων απαιτήσεων χωρίς να υπολειπεται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρις στις πολλές μονάδες που περιλαμβάνει. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να παρακάμπτει στάδια που δεν χρειάζονται ή να επαναλαμβάνει στάδια με τη διαδικασία της ανακυκλοφορίας για να αυξήσει το βαθμό απόδοσης. Συνήθης χειρισμός είναι η παράκαμψη (by pass) της πρωτοβάθμιας καθίζησης και η ανακυκλοφορία του μικτού υγρού και της δευτεροβάθμιας ιλύος στο βιοαντιδραστήρα. Το μικτό υγρό ανακυκλοφορείται στην ανοξική δεξαμενή και η ιλύς στην αναερόβια.

8. Συμπεράσματα

8.1 Σχολιασμός διαδικασίας

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος φάνηκε το πώς, για δεδομένες οικονομικές συνθήκες, η διαβάθμιση των απαιτήσεων των διαφόρων μορφών επαναχρησιμοποίησης καθορίζει την επιλογή συστήματος επεξεργασίας. Έτσι, για την περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση όπου οι απαιτήσεις αφορούν κυρίως τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίο αλλά όχι τα θρεπτικά, οι προτεινόμενες λύσεις δείχνουν πως ένα σύστημα παρατεταμένου αερισμού με στοιχειώδη απολύμανση μπορεί να είναι επαρκές. Για τη διάθεση στη θάλασσα που απαιτεί και μικρότερες συγκεντρώσεις θρεπτικών οι επιλογές αρχίζουν να περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα συστήματα ενεργού ιλύος με δυνατότητα αφαίρεσης θρεπτικών. Για την απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση που εισάγει επιπλέον απαιτήσεις διαύγειας οι επιλογές αφορούν εκτενείς γραμμές επεξεργασίας με πολλαπλά στάδια διήθησης και απολύμανσης για όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα.

Σημαντικό κριτήριο για την αποδοχή ή όχι μιας λύσης είναι η απαίτηση σε γη. Στην περίπτωση μας πέραν του σχετικά υψηλού κόστους γης, είχαμε και τον περιορισμό των 8 εκταρίων που είναι το διαθέσιμο γήπεδο της ΔΕΥΑΠ.

8.2 Αξιολόγηση υφιστάμενης ΕΕΛ Πάτρας

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η υφιστάμενη εγκατάσταση μπορεί να εξυπηρετήσει επαρκώς τις ανάγκες περιορισμένης επαναχρησιμοποίησης. Η γενική αρχή λειτουργίας της (σύστημα ενεργού ιλύος) συμφωνεί με την προτεινόμενη από το DSS αλλά υπάρχει απόκλιση στις μεθόδους αφαίρεσης θρεπτικών και σε ορισμένες άλλες μονάδες.

Για διάθεση της εκροής στη θάλασσα, για την οποία και σχεδιάστηκε, πέραν του ότι δεν είναι η οικονομικότερη λύση, το DSS εντοπίζει και κάποιες αδυναμίες στην αφαίρεση αζώτου. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της εκροής μπορεί να κυμανθεί από 2.37 mg/L, σε συνθήκες υψηλής απόδοσης, μέχρι 19.76 mg/L αν η απόδοση μειωθεί, ξεπερνώντας το όριο των 15 mg/L. Όσον αφορά την απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση, η παρούσα εγκατάσταση δεν μπορεί να ικανοποιήσει καμία απαίτηση.

Με την προσθήκη όμως των προτεινόμενων μονάδων μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση και να επιτευχθούν σταδιακά όλοι οι στόχοι.

8.3 Συγκριτική αξιολόγηση Title 22: USA I και υφιστάμενης εγκατάστασης

Συγκρίνοντας την προτεινόμενη με την υφιστάμενη εγκατάσταση (για τα έξι πρώτα σενάρια) παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη ομοιότητα. Και οι δύο εγκαταστάσεις είναι συστήματα ενεργού ιλύος, πράγμα αναμενόμενο από τα δεδομένα σχεδιασμού, ιδίως τα οικονομικά. Ωστόσο επισημάναμε τις εξής διαφορές:

1. Στην υφιστάμενη εγκατάσταση υπάρχουν ορισμένες διατάξεις ασφαλείας που στο προτεινόμενο απουσιάζουν και αυτό σίγουρα αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την ανταγωνιστικότητα. Αυτές είναι οι εσχάρες, ο αμμοσυλλέκτης και η δεξαμενή εξισορρόπησης. Στόχος τους είναι η αφαίρεση επικίνδυνων για τα μηχανήματα υλικών και η εξομάλυνση των παροχών αιχμής. Για να μην περιλαμβάνονται στο προτεινόμενο σύστημα σημαίνει ότι αυτό προϋποθέτει ένα πολύ καλής ποιότητας αποχετευτικό δίκτυο που δεν επιτρέπει την εισροή ξένων υλικών, άμμου και ομβρίων υδάτων. Δυστυχώς στην Πάτρα, το αποχετευτικό δίκτυο του κέντρου της πόλης που ανακατασκευάσθηκε αρκετά νωρίς σχεδιάσθηκε για μικτή χρήση λυμάτων και ομβρίων και αυτό δεν αναμένεται να αλλάξει εύκολα. Το καλό όμως είναι ότι οι μετέπειτα επεκτάσεις ακολουθούν το χωριστικό σύστημα και οι αγωγοί είναι καλής ποιότητας (ΥΠΕΚΑ, 2019).
2. Στην υφιστάμενη εγκατάσταση η απονιτροποίηση γίνεται παράλληλα με την αφαίρεση οργανικού φορτίου στο σύστημα ενεργού ιλύος χωρίς τη χορήγηση μεθανόλης. Το προτεινόμενο σύστημα προβλέπει τη χορήγηση μεθανόλης για αύξηση των αποδόσεων. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι τα λύματα στην ανοξική δεξαμενή είναι πτωχά σε οργανική ουσία και δεν υπάρχει ζήτηση οξυγόνου (Methanol.org, 2015). Έτσι δεν κινητοποιείται η διεργασία της απονιτροποίησης μέσω της οποίας τα νιτροβακτήρια εξασφαλίζουν το οξυγόνο της αναπνοής τους. Στην εγκατάσταση της Πάτρας αυτό αντιμετωπίζεται με κατάλληλη ρύθμιση της ανακυκλοφορίας του μικτού υγρού, πράγμα που με τη σειρά του αυξάνει το κόστος χειρισμού. Αυτή είναι και μια εξήγηση γιατί έχουμε υψηλότερο κόστος για χαμηλότερες αποδόσεις.
3. Το σύστημα ενεργού ιλύος της Πάτρας διαθέτει αναερόβια δεξαμενή αφαίρεσης φωσφόρου, ενώ το προτεινόμενο χρησιμοποιεί χημικές μεθόδους αφαίρεσης. Όπως και με την αφαίρεση αζώτου, έτσι και με το φώσφορο η κλασική μέθοδος βιολογικής αφαίρεσης στο πλαίσιο του συστήματος ενεργού ιλύος είναι μια διεργασία απαιτεί καλές κλιματικές συνθήκες, οικονομίες κλίμακας, αυστηρό έλεγχο και εμπειρία (Bunce, 2018). Αντίθετα, η χημική μέθοδος είναι πιο αξιόπιστη και έχει μικρότερο διαχειριστικό κόστος.
4. Στο προτεινόμενο σύστημα το διυλιστήριο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι απαραίτητο ακόμα και στην περίπτωση διάθεσης στη θάλασσα, ενώ στην υφιστάμενη εγκατάσταση χρησιμοποιείται μόνο σε μια περιορισμένης κλίμακας επαναχρησιμοποίηση για τον καθαρισμό των μηχανημάτων και την άρδευση του πρασίνου της εγκατάστασης.

5. Στο προτεινόμενο σύστημα όλα τα κόστη είναι υψηλότερα του υφιστάμενου. Εξαίρεση αποτελούν τα «λοιπά κόστη» που αντιστοιχούν στο γενικό κόστος χειρισμού και διαχείρισης, το οποίο από μόνο του στην υφιστάμενη εγκατάσταση είναι τόσο υψηλό ώστε να την καθιστά αντικοινωνικότερη της προτεινόμενης. Αυτό όπως είδαμε οφείλεται στις υψηλές απαιτήσεις χειρισμού και διοίκησης ενός κλασικού συστήματος ενεργού ιλύος και καταδεικνύει την εξαιρετική αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συνδυασμού μονάδων και των τεχνολογιών που ενσωματώνουν.

8.4 Σύγκριση μεθόδων επαναχρησιμοποίησης

Όσον αφορά τους τρόπους επαναχρησιμοποίησης, διαπιστώθηκε ότι αν χρησιμοποιηθεί η γραμμή Title 22: USA I δεν υπάρχει σημαντική διαφορά κόστους μεταξύ διάθεσης στη θάλασσα, περιορισμένης ή απεριόριστης επαναχρησιμοποίησης. Αυτό είναι ενδεικτικό της μεγάλης αποτελεσματικότητας αυτής της γραμμής η οποία εξ άλλου αποτελεί πρότυπο για όλο τον ανεπτυγμένο κόσμο. Έτσι, προτείνεται η απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση που είναι και η πιο προχωρημένη χρήση. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι οι ελληνικές προδιαγραφές και των τριών αυτών τρόπων είναι αρκετά αυστηρές και χωρίς έντονη διαβάθμιση, ώστε να αναμένουμε μεγάλη διαφοροποίηση στις λύσεις. Ακόμα και για τη διάθεση στη θάλασσα, παρόλο που ο Πατραϊκός κόλπος δεν χαρακτηρίζεται ευαίσθητος αποδέκτης, απαιτείται προχωρημένη επεξεργασία με αφαίρεση θρεπτικών.

Η παραγωγή των λυμάτων της πόλης είναι τέτοια που με την εφαρμογή της κατάλληλης επεξεργασίας - επαναχρησιμοποίησης μπορούν να καλυφθούν όλες οι ανάγκες άρδευσης καλλιεργειών εντός της λεκάνης του Γλαύκου, η προμήθεια των εργοστασίων και των υπηρεσιών του Δήμου με βιομηχανικό νερό για ψύξη, πλούσιμο και πυρόσβεση. Αυτή η εξοικονόμηση θα μπορούσε να αποκαταστήσει την υδρολογική ισορροπία στη λεκάνη του Γλαύκου, ο οποίος σύμφωνα με τη διαχειριστική μελέτη του Υδατικού Διαμερίσματος χαρακτηρίζεται προβληματικό υδροσύστημα λόγω των υπερβολικών απολήψεων κυρίως για άρδευση καλλιεργειών αλλά και για ύδρευση (ΦΕΚ1004B, 2013).

Δεδομένου του υψηλού κόστους του ύδατος ύδρευσης ακόμα και η επιλογή μεθόδων προχωρημένης επεξεργασίας για υψηλής καθαρότητας εκροή καθίσταται συζητήσιμη. Αυτό το επιχείρημα ενισχύεται αν συνυπολογισθεί και το περιβαλλοντικό κόστος.

Η ανάκτηση ύδατος υψηλής καθαρότητας ανοίγει το δρόμο και για την αύξηση των χώρων πρασίνου και αναψυχής στην Πάτρα. Η μεταφορά του λιμένα στη νέα του θέση έχει απελευθερώσει ένα τεράστιο παραλιακό μέτωπο που πρόκειται να αναπλασθεί. Η επάρκεια ύδατος θα δώσει τη δυνατότητα στο μέτωπο αυτό να είναι

κατάφυτο και να διαθέτει και υδάτινα σώματα όπως σιντριβάνια και διακοσμητικές λίμνες. Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αφορά και ιδιωτικούς κήπους, ιδίως σε ταράτσες πολυκατοικιών, μειώνοντας έτσι και το θερμικό αποτύπωμα της πόλης.

8.5 Προτάσεις για την εγκατάσταση

Όλες οι αδυναμίες της υφιστάμενης εγκατάστασης μπορούν να αποκατασταθούν αν ενισχυθεί με νέες τεχνολογίες για την επιπλέον αφαίρεση θρεπτικών και στερεών. Αυτές είναι η χρήση μεθανόλης για την ενίσχυση της απονιτροποίησης, μεταλλικών ενώσεων (χλωριούχος σίδηρος, θειικό αργίλιο, οξείδιο του ασβεστίου) για την αφαίρεση φωσφόρου και η εγκατάσταση φίλτρου διπλού μέσου (άμμος και ενεργός άνθρακας) για υψηλού επιπέδου διύλιση. Όλα τα κόστη με τις αναβαθμίσεις αυτές αυξάνονται, αλλά η οικονομία στο γενικό κόστος διαχείρισης σε σχέση με το κλασικό σύστημα αφαίρεσης θρεπτικών διαμορφώνει ένα μικρότερο τελικό ανηγμένο κόστος.

Το κόστος των γραμμών που επιτυγχάνουν στόχους υψηλής καθαρότητας είναι μεγάλο, ωστόσο, η εκροή αυτή μπορεί να υποκαταστήσει εισαγωγές καθαρού ύδατος από μεγάλες αποστάσεις και έτσι η τιμή με την οποία θα πρέπει να συγκρίνεται είναι διαφορετική, ιδίως αν ληφθεί υπόψη και το περιβαλλοντικό κόστος.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των προτεινόμενων συστημάτων για τα δύο τελευταία σενάρια είναι ότι το σύστημα ενεργού ιλύος ακολουθείται από πολλές διατάξεις διήθησης η οποία δεν γίνεται πια με διυλιστήριο διπλού μέσου όπως στην Title 22: USA I αλλά με σύστημα μικροδιήθησης για το σενάριο της οριακής αύξησης του πληθυσμού (High quality: USA II), υπερδιήθησης για το σενάριο της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού (High quality: Belgium) και αντίστροφης ώσμωσης και στα δύο σενάρια.

Η διαφορά μεταξύ μικροδιήθησης και υπερδιήθησης είναι στο μέγεθος των σωματιδίων που κατακρατούνται από τις μεμβράνες. Στη μικροδιήθηση η μεμβράνη έχει ανοίγματα 50 nm – 1 μm και στην υπερδιήθηση 5 – 20 nm, πράγμα που σημαίνει ότι η πρώτη επιτυγχάνει αφαίρεση στερεών, κολλοειδών και βακτηρίων αλλά όχι ιών, ενώ η δεύτερη επιτυγχάνει αφαίρεση ιών και των περισσότερων μακρομορίων αλλά ελάχιστων ιόντων. Τα μικρότερα μόρια και τα ιόντα αφαιρούνται με την αντίστροφη ώσμωση (Shon, 2013).

Σημαντική διεργασία, κοινή και στις δύο γραμμές είναι η εδαφική διήθηση (Soil Aquifer Treatment). Αυτή γίνεται με λεκάνες πορώδους πυθμένα που επικοινωνούν με υδροφόρους. Η εδαφική στρώση αποτελεί ένα ακόμα φίλτρο και μετά ακολουθεί ανάμιξη με τα πρωτογενή αποθέματα ύδατος. Η επαναχρησιμοποίηση με αυτές τις μεθόδους είναι έμμεση και γίνεται με άντληση των εμπλουτισμένων αποθεμάτων.

8.6 Προτάσεις για το DSS POSEIDON

Η απόδοση του DSS POSEIDON σε αυτή τη δοκιμή κρίνεται πολύ ικανοποιητική. Το γεγονός ότι η λύση που έδωσε συγκλίνει πολύ με αυτή της συμβατικής διαδικασίας μελέτης σημαίνει ότι υπάρχει μια αμοιβαία επιβεβαίωση. Αλλά και στα σημεία που οι λύσεις διαφοροποιήθηκαν, υπήρξε εξήγηση. Κι ενώ όλα μπορεί να ήταν γνωστά από τη θεωρία της Επεξεργασίας Λυμάτων χωρίς τη συγκριτική ανάλυση που έγινε με το DSS θα ήταν πολύ δύσκολο κάποιος να τα εντοπίσει. Αυτό καταδεικνύει τις μεγάλες δυνατότητες του DSS για ανάπτυξη δεξιοτήτων (capacity building).

Η πρώτη πρόταση λοιπόν που έχουμε προς τους δημιουργούς του DSS για την επόμενη έκδοση είναι να αναπτύξουν κι άλλο το περιγραφικό τμήμα των γραμμών και των μονάδων επεξεργασίας ώστε να είναι για το χρήστη πιο εύκολη η σύνδεση του DSS με την αντίστοιχη θεωρία και τη βιβλιογραφική τεκμηρίωση.

Η δεύτερη πρότασή μας αφορά τον τρόπο σύνθεσης των γραμμών επεξεργασίας. Η τρέχουσα τακτική είναι οι λύσεις να προκύπτουν με δοκιμές κάποιων έτοιμων γραμμών επεξεργασίας και την επιλογή των καλύτερων. Αυτό διασφαλίζει ότι οι λύσεις που θα δοθούν θα είναι και ρεαλιστικές. Στο μεταξύ το DSS μας δίνει τη δυνατότητα να συνθέσουμε και δικές μας γραμμές και να συναξιολογηθούν με τις άλλες. Έτσι αναλόγως των αποτελεσμάτων ο χρήστης έχοντας εντοπίσει τα σημεία ενδιαφέροντος μπορεί να βελτιστοποιήσει τις γραμμές της εγκατάστασής του. Για εξοικονόμηση χρόνου μελέτης, αυτό το τόσο καλό χαρακτηριστικό θα προτείναμε να εισαχθεί στο DSS και να γίνεται η βελτιστοποίηση μέσω τεχνητής νοημοσύνης η οποία θα χρησιμοποιεί και κριτήρια ρεαλιστικότητας.

Η τρίτη μας πρόταση είναι να συμπεριληφθεί στα δεδομένα σχεδιασμού το κλίμα της περιοχής, μιας και η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση των διεργασιών και κάποιες μπορεί να είναι λιγότερο κατάλληλες σε κάποιο άλλο κλίμα. Τέλος, θα προτείναμε οι γραμμές να περιλαμβάνουν και τις μονάδες επεξεργασίας της ιλύος που προκύπτει από την κάθε μέθοδο. Έτσι η ανάλυση του συστήματος θα είναι πλήρης.

8.7 Μελλοντικά σχέδια

Η θετική εντύπωση από την αρχική εφαρμογή του DSS μας δίνει κίνητρο για την αξιοποίηση κι άλλων από τις δυνατότητές του. Βραχυπρόθεσμος στόχος είναι η βελτιστοποίηση της προτεινόμενης γραμμής δοκιμάζοντας διάφορες παραλλαγές της. Πιο προχωρημένος και μακροπρόθεσμος στόχος είναι η εφαρμογή γεωχωρικής ανάλυσης για την εκτίμηση του πλήρους κόστους κάθε δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης. Ο στόχος αυτός απαιτεί καταγραφή των δυνητικών

αποδεκτών, ιδίως στο γεωργικό τομέα και τη χάραξη ενός δικτύου διανομής. Το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη του τα μήκη των αγωγών, τα υψόμετρα και την ανάγκη δεξαμενών αποθήκευσης. Εφαρμόζοντας αυτή τη δυνατότητα θα μπορέσουμε να επιλέξουμε μεταξύ δυσδιάκριτων επιλογών όπως μια μέτριου κόστους επεξεργασία για επαναχρησιμοποίηση σε μεγάλη απόσταση και μια ακριβότερη επεξεργασία για επαναχρησιμοποίηση σε αστικές χρήσεις.

9. Επίλογος

Η παραπάνω εργασία ήταν μια εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων στον τομέα της επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης υγρών αστικών αποβλήτων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε αποδείχθηκε πολύ αποτελεσματικό στην επισκόπηση και ταξινόμηση επιλογών βάσει πληθώρας κριτηρίων. Εφαρμοζόμενο στις προμελέτες σκοπιμότητας μπορεί να βοηθήσει στην προώθηση του στόχου της επαναχρησιμοποίησης, ιδίως σε περιοχές που ακόμα είναι άγνωστη. Το σύστημα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα σεναρίων και μπορεί να δώσει απαντήσεις σε πολλά προβλήματα σχεδιασμού. Δεν υποκαθιστά βέβαια την οριστική μελέτη αλλά δίνει μια πρώτη εκτίμηση στο στάδιο προμελέτης.

Η χρήση του DSS POSEIDON εκτός από τη λύση πραγματικών προβλημάτων σχεδιασμού απέδειξε πως αποτελεί και εκπαιδευτικό εργαλείο συνεισφέροντας στη λεγόμενη ανάπτυξη ικανοτήτων (capacity building) στο πεδίο της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων. Εκτελώντας ο χρήστης δοκιμές διαφόρων σεναρίων μαθαίνει με ευχάριστο τρόπο την επιστήμη της επεξεργασίας λυμάτων. Κι αυτή η μεταλαμπάδευση της εμπειρίας των ειδικών που είναι αποθηκευμένη στη βάση δεδομένων του ίσως είναι η μεγαλύτερη ευεργεσία των δημιουργών του προς την κοινωνία.

Αν και όλοι θα επιθυμούσαμε να επανέλθουν τα υδάτινα σώματα σε προβιομηχανικές συνθήκες, στην πράξη γίνεται ένας συμβιβασμός σε ευαίσθητα οικοσυστήματα με απειλούμενα είδη. Η επαναχρησιμοποίηση του ύδατος, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης, είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για το διπλό πρόβλημα της λειψυδρίας και της ρύπανσης, διότι συνδυάζει την ταυτόχρονη μείωση της πίεσης στο σημείο της απόληψης ύδατος και στο σημείο της διάθεσης των υγρών αποβλήτων. Το ανακτημένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αστικές και βιομηχανικές χρήσεις, στην άρδευση καλλιεργειών και πρασίνου, τον εμπλουτισμό υδροφόρων και τη δημιουργία ενδιαιτημάτων άγριας φύσης που μπορούν να φιλοξενήσουν και δραστηριότητες αναψυχής.

Προϋπόθεση της επαναχρησιμοποίησης είναι η επεξεργασία των λυμάτων μέχρι ένα σημείο καθαρότητας που να επιτρέπει την ασφαλή τους διάθεση ανάλογα με την περίπτωση. Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να γίνει είτε με απευθείας εφαρμογή της επεξεργασμένης εκροής, είτε μετά από ανάμιξη με ύδατα από συμβατικές πηγές απόληψης.

Η παραγωγή εκροών υψηλής καθαρότητας μπορεί να επιτευχθεί με προηγμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας που μπορούν όμως να προκύψουν και με αναβάθμιση των υφιστάμενων. Σε κάθε περίπτωση, η μέθοδος επεξεργασίας εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιοτική μεταβολή που πρέπει να επέλθει στα λύματα ώστε να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές του τρόπου επαναχρησιμοποίησης. Το σημαντικότερο κριτήριο για την επιλογή του σχήματος επεξεργασίας –

επαναχρησιμοποίησης είναι η τεχνοοικονομική αιτιολόγηση της σκοπιμότητας του, δηλαδή το προσδοκώμενο όφελος να δικαιολογεί το κόστος.

Όσο οι αξιοποιήσιμοι υδατικοί πόροι περιορίζονται, η επαναχρησιμοποίηση θα κερδίζει συνεχώς έδαφος και αναμένεται να αποτελέσει τον κανόνα στις μελλοντικές κοινωνίες. Ακόμα και επεξεργασμένες, επειδή οι εκροές δεν παύουν να προέρχονται από ακάθαρτα ύδατα, η επαναχρησιμοποίησή τους αναμένεται να έχει επιπτώσεις. Τέτοιες μπορεί να είναι η ρύπανση των υπογείων υδάτων, η απορρόφηση επικίνδυνων ρύπων από τις καλλιέργειες και τα ζώα, η συγκέντρωση κουνουπιών και άλλων παρασίτων και οι βλάβες στα υδραυλικά συστήματα εφαρμογής.

Γι' αυτό η επαναχρησιμοποίηση πρέπει να γίνεται ακολουθώντας διαδικασίες βαθμιαίας ανάπτυξης, ξεκινώντας από την εργαστηριακή κλίμακα και συνεχίζοντας με την πλοηγική, πριν την εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα. Λόγω της πρωτοτυπίας και των πολλών αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται, η ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών πρέπει να είναι προσεκτική ώστε καμία αποτυχία να μην κλονίσει την εμπιστοσύνη της κοινής γνώμης που είναι απαραίτητη για την οριστική αποδοχή της επαναχρησιμοποίησης. Στην προσπάθεια αυτή, η συνεισφορά των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων αναμένεται να είναι όλο και μεγαλύτερη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Andersson. (2016). *Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Dickin, S. and Trimmer, C. Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: from Waste Disposal to Resource Recovery*. Nairobi and Stockholm: United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute.: UNEP.
- Barlow, P. (2016). *Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast*. United States Geological Survey.
- Barnwell. (1987). Barnwell T., Brown L., Whittenmore R., QUAL2E – A case study in water quality modeling software. Oxford.
- Bartram. (1996). *J. Bartram, S. Pedley. Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Chapter 10 - MICROBIOLOGICAL ANALYSES*. United Nations Environment Programme / World Health Organization .
- Beck. (1986). Beck M.B., Identification, estimation and control of biological waste – water treatment process: Proceedings of the Institution of Electrical Engineers.
- Beck. (1987). M.B. Beck, Water quality modeling: A review of the analysis of uncertainty: Water Resources Research, Volume 23, Issue 8.
- Beck. (1988, Beck M.B., Adeloye A., Lessard P., Finney B., Simon L., Stormwater overflows: modelling impacts on the receiving waters and the treatment plant).
- Beck. (1989). Beck M. B., System identification and control. Chelsie, MI, United States of America: Lewis Publishers.
- Beck. (2018). *Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. - Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Nature Scientific Data.*
- Borea. (2019). *Laura Borea, Benny Marie B. Ensano, Shadi Wajih Hasan, Malini Balakrishnan, Vincenzo Belgiorno, Mark Daniel G. de Luna, Florencio C. Ballesteros, Vincenzo Naddeo,*. Science of The Total Environment.
- Bunce. (2018). Joshua T. Bunce, Edmond Ndam, Irina D. Ofiteru, Andrew Moore, David Graham. A Review of Phosphorus Removal Technologies and Their Applicability to Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Systems. *Frontiers in Environmental Science. United Kingdom*.
- Burgess. (2015). *Jo Burgess, Melissa Meeker, Julie Minton and Mark O'Donohue. International research agency perspectives on potable water reuse*. London, United Kingdom: Environmental Science Water Research & Technology. Royal Society of Chemistry.
- Ceccaroni. (2000). Ceccaroni L. “Integration of a rule-based expert systems, a case-based reasoner and an ontological knowledge-base in the wastewater domain”. *2nd ECAI Workshop on Binding Environmental Sciences and Artificial Intelligence (BESAI'2000)*, pp. 8:1-8:10. Berlin.

- CENR. (2000). *Committee on Environmental and Natural Resources. Integrated assessment of hypoxia in the Northern Gulf of Mexico*. Washington, DC. : National Science and Technology Council,.
- Chapin. (2011). *F Stuart Chapin, III; P A Matson; Peter Morrison Vitousek; Melissa C Chapin. Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York: Springer.
- Chen. (1997). *Chen, J.; Beck, M.B. Towards designing sustainable urban wastewater infrastructures: A screening analysis*. Water Sci. Technol.
- Clausen. (2004). Torkil Jønch-Clausen. "...Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005" Why, What and How? . *TAC Background Paper No. 10*. . Global Water Partnership, Stockholm. .
- COROADO. (2015). Coroado Project: Technologies for Water Recycling and Reuse in Latin America Content: Assessment, Decision Tools and Implementable Strategies Under an Uncertain Future - COROADO.
- Corpuz. (2020). *Mary Vermi Aizza Corpuz, Antonio Buonerba, Giovanni Vigliotta, Tiziano Zarra, Florencio Ballesteros Jr, Pietro Campiglia, Vincenzo Belgiorno, Gregory Korshin, Vincenzo Naddeo. Viruses in wastewater: occurrence, abundance and detection methods* . Science of the Total Environment. Elsevier.
- Czarnota. (2019). Ioanna Czarnota, Adam Mastoń. Biogranulation and Physical Properties of Aerobic Granules in Reactors at Low Organic Loading Rate and with Powdered Ceramsite Added. *Journal of ecological engineering. Lublin, Poland*.
- DeOreo. (2016). *De Oreo William B.; Mayer, Peter; Dziegielewski, Benedykt; Kiefer, Jack. Residential End Uses of Water, Version 2*. Denver, Colorado.: Water Research Foundation.
- EEA. (2014). *Water use in Europe. Quantity and quality face big challenges*. Kopenhagen, Denmark: European Environment Agency.
- EPA. (1948). *Clean Water Act*. United States of America: Environmental Protection Agency.
- EPA. (2000). *Environmental Protection Agency. Centrifuge Thickening and Dewatering*. Washington DC: Office of Water.
- EPA. (2004). *Environmental Protection Agency. Primer for Municipal Wastewater Systems*. Washington DC. United States of America: Office of water and wastewater management.
- EPA. (2004). *Environmental Protection Agency. Report to Congress: Impacts and control of SSOs and CSOs*. United States of America.
- EPA. (2009). *Environmental Protection Agency. Report to Congress for the 2004 Reporting Cycle – A Profile*. United States of America: The National Water Quality Inventory.
- EPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Washington, D.C. United States of America: Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, Office of Water.
- EPA. (2014). *Private Sewer Laterals*. United States: Environmental Protection Agency.

- EPA. (2022). *Basic Information about Water Reuse*. Environmental Protection Agency. United States of America.
- Eurostat. (2021). Average hourly cost in selected european countries in 2020 (euros).
- Eurostat. (2022). *Population on 1 January by age groups and sex - functional urban areas*. European Commission.
- FAO. (2014). *The Water-Energy-Food Nexus. A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture*. Rome: United Nations, Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, Italy: United Nations, Food and Agriculture Organization.
- FinanceSkills. (2020). Finance Skills. Τι είναι το discount rate; *Finance Skills. Corporate Finance, Investment Banking & Financial Planning and Analysis Training*. Athens, Greece.
- Finn. (1989). *Gavin A. Finn, Applications of expert systems in the process industry*. Chelsie, MI, United States of America: Lewis Publishers.
- Ford. (2002). *F. Nelson Ford. Decision support systems and expert systems: a comparison*. Alabama, United States of America: Information & Management, Elsevier.
- Fritsch. (1986). *Fritsch T. J, Pump-Pro: a centrifugal pump diagnosis expert system*. Houston, Texas, United States of America: ASME Symposium.
- Goldman. (1983). *Goldman, Charles R.; Horne, Alexander J., Limnology*. New York, USA: Mc Grow Hill.
- Gorry. (1971). *George Anthony Gorry, Michael S. Scott-Morton. A framework for management information systems*. Sloan Management Review.
- Griffiths. (2008). Waterborne diseases. Στο G. J. K., *International Encyclopedia of Public Health*. Boston MA USA.
- GWP. (2000). Integrated water resource management. *Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC)*. Stockholm, Sweden: Global Water Partnership.
- Hayes-Roth. (1983). *Hayes-Roth, Frederick; Donald Waterman; Douglas Lenat. Building Expert Systems*. Massachusetts, United States of America: Addison-Wesley.
- Henze. (1986). Henze M., Grady C., Gujer W., Marais G., Matsuo T., Activated sludge model No 1, UK, 1986. *Scientific and technical reports No 1. IAWPRC. London, United Kingdom*.
- Howarth. (2006). Robert W. Howarth and Roxanne Marino. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. *Limnology & Oceanography. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.*
- Ibish. (2016). Ibish, Ralf B.; Bogardi, Janos J.; Borchardt, Dietrich. Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation. *Springer*.
- IEA. (2021). *Hydropower Special Market Report*. Paris, France: International Energy Agency.

- IndexMundi. (2020). Index Mundi. Greece central bank discount rate. CIA factobook. United States of America.
- Jones. (2021). Jones, E. R., van Vliet, M. T. H., Qadir, M., and Bierkens, M. F. P.: Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data. Copernicus Publications.*
- Karavitis. (2014). Christos A. Karavitis, Demetrios E. Tsesmelis, Nikolaos A. Skondras, Demetrios Stamatakos, Stavros Alexandris, Vassilia Fassouli, Konstantina G. Vasilakou, Panagiotis D. Economou, Gregor Gregoric, Neil S. Grigg, Evan C. Vlachos. *Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale.*
- Keen. (1980). Peter G. W. Keen. *Decision Support systems: a research perspective.* Massachusetts, United States of America: Center of information systems research. MIT.
- Kelland. (2017). Kate Kelland, Andrew Heavens. *Study links pollution to millions of deaths worldwide.* London, United Kingdom: Reuters, Environment.
- Lessard. (1989). Lessard P., Operational water quality management: control of stormwater discharges. *PhD thesis. University of London. United Kingdom.*
- Liston, E. (2014). Satellite images show Aral Sea basin 'completely dried'. *The Guardian.*
- Long. (2019). Long B., Xuan X., Yang Ch., Zhang L., Cheng Y., Wang J.. Stability of aerobic granular sludge in a pilot scale sequencing batch reactor enhanced by granular particle size control. *Chemosphere, Elsevier.*
- Methanol.org. (2015). Methanol Use in Denitrification. *Methanol Facts.*
- Mikosz. (2010). Mikosz J., Application of expert systems in wastewater treatment. *Institute of Water Supply and Environmental Engineering, Cracow University of Technology, ul. Warszawska 24, 31-155 Cracow, Poland.*
- Mosher. (2015). Jeffrey J. Mosher and Gina Melin Vartanian. *Framework for Direct Potable Reuse.* Alexandria VA: National Water Research Institute .
- Oertle. (2019). Emmanuel Oertlé, Christoph Hugi, Thomas Wintgens, Christos A. Karavitis. *Poseidon—Decision Support Tool for Water Reuse.* Basel, Switzerland: Water. MDPI.
- Olsson. (1985). Gustaf Olsson, Ulf Holmberg, Anders Wikström., A Model Library for Dynamic Simulation of Activated Sludge Systems. *Proceedings of the 4th IAWPRC Workshop Held in Houston and Denver, U.S.A.*
- Patry. (1989). Gilles G. Patry, David Chapman. *Dynamic modeling and expert systems in wastewater engineering.* United States of America: Lewis Publishers.
- Postgate. (1998). Postgate, J. *Nitrogen Fixation (3rd ed.)* . Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Power. (2002). Power Daniel J., *Decision support systems, concepts for managers.* London, United Kingdom: Quorumbooks.
- Power. (2007). Power, D.J. *A Brief History of Decision Support Systems.* DSSResources.COM, World Wide Web, <http://DSSResources.COM/history/dsshhistory.html>, version 4.0.

- Pressley. (1972). *Thomas A. Pressley, Dolloff F. Bishop, and Stephanie G. Roan. Ammonia-nitrogen removal by breakpoint chlorination*. Environ. Sci. Technol. American Chemical Society.
- Qasim. (1999). *Qasim S. R.. Wastewater treatment plants. Planning, design and operation*. Lancaster, United States of America: Technomic publishing.
- Rahaman. (2005). Muhammad Mizanur Rahaman & Olli Varis, Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice and Policy*.
- Redfield. (1934). *Redfield, AC. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton*. Harvard University.
- Rifka. (2018). *Rifka Aisyah. The Difference between Pre-feasibility Study and Feasibility Study*. Chemical engineering portal.
- Ritchie. (2021). *Ritchie, Roser, Mispy, Ortiz-Ospina. Measuring progress towards the Sustainable Development Goals*. Sustainable Development Goals Tracker. United Nations.
- Rossman. (1989). *Rossman L., Application of Expert Systems in environmental engineering*. Chelsie, MI, United States of America: Lewis Publishers.
- Rounds. (2013). *Rounds, S.A., Wilde, F.D., and Ritz, G.F., 2013, Dissolved oxygen (ver. 3.0)*. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations.
- Rus. (2007). *Rus Rozalia Veronica , A. Whinston , Efraim Turban , Paul Gray , Eric D. Carlson , Ralph H. Sprague , Hugh J. Watson. Decision Support Systems Development*. Romania: Babeş Bolyai University, Faculty of Business, Cluj-Napoca.
- Sanz. (2014). *Laura Alcalde Sanz, Bernd Manfred Gawlik. Water Reuse in Europe. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. A synoptic overview*. European Commission. JRC Science and policy reports.
- Schindler. (2004). *Schindler, David and Vallentyne, John R. Over fertilization of the World's Freshwaters and Estuaries*. Alberta, Canada: University of Alberta Press.
- Shon. (2013). H. K. Shon, S. Phuntsho, D. S. Chaudhary, S. Vigneswaran, J. Cho. Nanofiltration for water and wastewater treatment - A mini review. *Drinking Water Engineering and Science*.
- Shultz. (1989). *Jan R. Schultz. A History of the PROMIS Technology: An Effective Human Interface*. Massachusetts, United States of America: Association for Computing Machinery, Addison-Wesley Publishing Co., Inc.
- Smith. (2014). Smith M., Clausen T., INTEGRATED WATER RESOURCE MANAGEMENT: A NEW WAY FORWARD. *A DISCUSSION PAPER OF THE WORLD WATER COUNCIL TASK FORCE ON IWRM*. Marseille: World Water Council.
- Snellen. (2004). IWRM: for sustainable use of water. 50 years of international experience with the concept of integrated water management. *Background document to the FAO / Netherlands conference on water for food and ecosystems*. WWAP, DHI Water Policy, UNEP-DHI Centre for Water and Environment.

- Sperling, M. v. (2015). *Wastewater characteristics, treatment and disposal, Volume I*. London: IWA Publishing.
- Sprague. (1982). *Sprague, R. H. and E. D. Carlson. Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs, NJ, United States of America: Prentice-Hall.
- SRCS D. (2009). *Sacramento Regional County Sanitation District, Office of Water Programs, California State University Sacramento. Ammonia Removal Options for High Purity Oxygen Activated Sludge Systems: a Literature Review*. Sacramento, United States of America: Sacramento Regional County Sanitation District.
- Stathatou. (2016). P.-M. Stathatou, E. Kampragou, H. Grigoropoulou, D. Assimacopoulos, C. Karavitis, M.F.A. Porto, J. Gironás, M. Vanegas & S. Reyna. Vulnerability of water systems: a comprehensive framework for its assessment and identification of adaptation strategies. *Desalination and Water Treatment*.
- Sun. (2013). *J.Sun, X.Jiang. Microfluidic devices for viral detection*. Woodhead Publishing Series in Biomaterials.
- Tay. (2006). *Tay, J. H., Tay, S. T. L., Liu, Y., Show, K. Y., and Ivanov, V.. Biogranulation Technologies for Wastewater Treatment*, . Oxford, UK: Elsevier Science.
- UN. (2015). United Nations. Sustainable Development Goals. *Sustainable development summit*. New York.
- UN. (2015). United Nations. Sustainable Development Goals. New York, United States of America: Department of Economic and social affairs.
- UNCTAD. (2020). *Review of Maritime Transport*. Geneva, Switzerland: United Nations Conference on Trade and Development.
- Venugopalan. (2005). V.P. Venugopalan, Y.V. Nancharaiah, T.V.K. Mohan and S.V. Narasimhan. Biogranulation: self – immobilised microbial consortia for high performance. *Water and Steam Chemistry Laboratory. BARC Facilities, Kalpakkam, India*.
- VonSperling. (2007). *Marcos Von Sperling. Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. London, United Kingdom: IWA Publishing.
- Warsinger. (2016). Warsinger, D. M., Chakraborty, S., Tow, E. W., Plumlee, M. H., Bellona, C., Loutatidou, S., Karimi, L., Mikelonis, A. M., Achilli, A., Ghassemi, A., Padhye, L. P., Snyder, S. A., Curcio, S., Vecitis, C., Arafat, H. A., & Lienhard, J. H. *A review of polymeric membranes and processes for potable water use. Progress in polymer science. Environmental Protection Agency. United States of America*.
- WHO. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater. Volume IV: excreta and graywater in agriculture*. United Nations. World Health Organization.
- World bank. (2020). *Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal)*.
- WWAP . (2017). *World Water Assessment Programme. Wastewater: The Untapped Resource. The United Nations World Water Development Report 2017*. Paris: United Nations .

- Zhou. (2019). Zou J., Pan J., Wu S., Qian M., He Z., Wang B., Li J. Rapid control of activated sludge bulking and simultaneous acceleration of aerobic granulation by adding intact aerobic granular sludge. *Science of the total environment*. Elsevier.
- ΑΕΠΟ175134. (2014). Ανανέωση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων για την ΕΕΛ Δήμου Πατρέων. Α.Π. 175134/26.9.2014 Ειδική Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- ΔΕΥΑΠ. (2001). Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων Δήμου Πατρέων. Πάτρα.
- ΕΛΣΤΑΤ. (1980). *The population of Greece in the second half of the 20th century. Hellenic Republic. National Statistical Service of Greece. Athens 1980 & "Statistical Yearbook of Greece" Hellenic Republic. National Statistical Service of Greece. Athens 1980.*
- ΕΛΣΤΑΤ. (2011). Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. Απογραφικά Δεδομένα.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2000). *Οδηγία-πλαίσιο της ΕΕ για τα ύδατα — Ολοκληρωμένη διαχείριση των λεκανών απορροής ποταμών στην Ευρώπη.*
- Ευστρατιάδης. (2015). Α. Ευστρατιάδης, Σ. Μίχας & Δ. Δερματάς. *Υδραυλικές Κατασκευές & Φράγματα – Υδρολογία φραγμάτων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κατριβέσης. (2003). Κατριβέσης Νικόλαος. *Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή της πόλεως των Πατρών. Κωδικοποίηση και στατιστική επεξεργασία των στοιχείων. Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών.*
- Κουτσογιάννης. (2001). Δ. Κουτσογιάννης, Α. Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης. *Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του στη λεκάνη του Αχελώου και τη Θεσσαλία, Κεφ. 5 της Μελέτης Υδατικών Συστημάτων*. Αθήνα: Ανάθεση: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάδοχος: Υδροεξυγιαντική & Συνεργαζόμενοι μηχανικοί.
- Πανώρας. (1999). Α. Πανώρας, Α. Ηλιάς. *Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα*. Θεσσαλονίκη.
- Παπαδάκη. (2018). Παπαδάκη Χριστίνα, *Ανάπτυξη καμπυλών καταλληλότητας ενδαιτημάτων ιχθυοπανίδας με σκοπό τον υπολογισμό οικολογικών παροχών, Διδακτορική Διατριβή*. Αθήνα.
- Πασπαράκης. (2018). Πασπαράκης Εμμανουήλ. *ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΖΩΤΟΥ ΑΠΟ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΑ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ*. Αθήνα: Μεταπτυχιακή Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Τριανταφύλλου. (1995). Κωνσταντίνος Ν. Τριανταφύλλου. *Ιστορικών Λεξικών των Πατρών: Ιστορία της πόλεως των Πατρών από αρχαιοτάτων χρόνων έως σήμερα κατά αλφαβητικήν ειδολογικήν κατάταξιν*.
- Τσώνης. (2004). Τσώνης Στυλιανός, *Επεξεργασία Λυμάτων*. Πάτρα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

- ΥΠΕΚΑ. (2013). Σχέδιο διαχείρισης υδάτων υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Γραμματεία Υδάτων.
- ΥΠΕΚΑ. (2019). Ειδική Γραμματεία Υδάτων. *Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων. Βάση Δεδομένων Παρακολούθησης Λειτουργίας.*
- ΥΠΕΝ. (2022). *Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών.* Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- ΦΕΚ1004Β. (2013). Έγκριση των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, Βόρειας Πελοποννήσου, Ανατολικής Πελοποννήσου και Δυτικής Πελοποννήσου. *Εφημερίς της Κυβερνήσεως 24 Απριλίου 2013.*
- ΦΕΚ1811. (1999). Εφημερίς της Κυβερνήσεως. Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων.
- ΦΕΚ1811. (1999). *Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων.* Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ181Β'. (2014). Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ182Β'. (2014). Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ1909Β'. (2010). *Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα.*
- ΦΕΚ192. (1997). Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. *Εφημερίς της Κυβερνήσεως.*
- ΦΕΚ2075/Β'. (2009). Καθορισμός μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από τη ρύπανση και την υποβάθμιση. *Εφημερίς της Κυβερνήσεως.*
- ΦΕΚ2290Β'. (2013). Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ2291Β'. (2013). Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ2292Β'. (2013). Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ2561Β'. (2014). Έγκριση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ2562Β'. (2014). Έγκριση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ280. (2003). Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.

- ΦΕΚ354. (2011). *Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων*. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ383B'. (2006). Υ.Α. Η.Π. 13588/725/2006. Μέτρα όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991. *Εφημερίς της Κυβερνήσεως*.
- ΦΕΚ405. (2002). *Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων (τροποποίηση)*. Εφημερίς της κυβερνήσεως.
- ΦΕΚ405. (2020). *Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων*. *Εφημερίς της Κυβερνήσεως*.
- ΦΕΚ4976. (2018). Κοινή Υπουργική Απόφαση Αριθμ. 3915/144646/2018. Ειδικοί όροι εμφιάλωσης οίνων. ΑΠΟΦΑΣΗ ΥΠΟΥΡΓΟΥ ΚΑΙ ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. *ΦΕΚ 4976/Β/8-11-2018*.
- ΦΕΚ54. (2007). *Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων στο πλαίσιο της οδηγίας 2000/60/ΕΚ*. Εφημερίς της Κυβερνήσεως.
- Φράγκος. (2019). *Φράγκος Σπυρίδων, Προμελέτη για το έργο Επέκταση Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων. Μελέτη Αποχέτευσης Λυμάτων Γ Προτεραιότητας και Επέκτασης ΕΕΛ Πάτρας*. Πάτρα: ΔΕΑΠ.