



UNIVERSITY OF
WEST ATTICA
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**«Ανάκτηση νερού από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα πλαίσια
της κυκλικής οικονομίας. Τιμολόγηση και εφαρμογές»**

**Water recovery and reuse from waste water treatment plants. Pricing and
applications**

Όνοματεπώνυμο εκπονητή: Τσουλουχάς Ιωάννης

Αριθμός μητρώου: 46146757

Εισηγήτρια: Αιμιλία Μ. Κονδύλη

Αιγάλεω , 2024



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**«Ανάκτηση νερού από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα πλαίσια
της κυκλικής οικονομίας. Τιμολόγηση και εφαρμογές»**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΚΟΝΔΥΛΗ ΑΙΜΙΛΙΑ	
2	ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ	
3	ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΤΣΟΥΛΟΥΧΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ., με αριθμό μητρώου 46146757 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάκτηση νερού από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας. Τιμολόγηση και εφαρμογές

Τσουλουχάς Ιωάννης

A.M: 46146757

Περίληψη

Η ανάκτηση και η επαναχρησιμοποίηση νερού από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή τα τελευταία χρόνια λόγω των αυξανόμενων ανησυχιών σχετικά με τη λειψυδρία και τη βιωσιμότητα. Η εργασία επιδιώκει μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης να μελετήσει τις κυρίαρχες τάσεις και στρατηγικές στην τιμολόγηση και εφαρμογές του ανακτημένου νερού από μονάδες ανάκτησης και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η εργασία ξεκινά με την ερεύνα του υποβάθρου της επαναχρησιμοποίησης νερού, γίνεται αναφορά στα ύδατα και τα υγρά απόβλητα καθώς και στην παρούσα κατάσταση των υδάτινων πόρων και της λειψυδρίας. Αναφέρεται η κυκλική οικονομία και ο ρόλος της στην επαναχρησιμοποίηση νερού, η σημασία που έχει η ανάκτηση του νερού στην κοινωνία και το περιβάλλον καθώς και τα είδη ανάκτησης πέρα από το νερό. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον επιτυχή καθαρισμό των λυμάτων. Αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάκτηση νερού καθώς και η σύσταση και πηγές των υγρών αποβλήτων. Ακολουθώντας γίνεται αναφορά στις εφαρμογές του ανακτημένου νερού όπως η γεωργική άρδευση, βιομηχανική χρήση και άλλα. Και την κατάσταση που επικρατεί στο κόσμο σχετικά με τις εφαρμογές του ανακτημένου νερού. Έπειτα είναι η σειρά της τιμολόγησης να αναφερθεί και ερευνά τις μεθόδους τιμολόγησης και περιπτώσεις τιμολόγησης ανά το κόσμο. Ακολουθούν οι νομοθεσίες και τα κανονιστικά πλαίσια που διέπουν στην επαναχρησιμοποίηση του νερού. Αναφέρεται σε κανονισμούς κρατών και οργανισμών. Τέλος βάση της εργασίας βγαίνουν κάποια συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά: Επαναχρησιμοποίηση νερού, ανάκτηση νερού, μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, Εφαρμογές ανακτώμενου νερού, τιμολόγηση ανακτώμενου νερού, πρότυπα, κανονισμοί για επαναχρησιμοποίηση νερού

Abstract

Water recovery and reuse from wastewater treatment plants has gained significant attention in recent years due to growing concerns about water scarcity and sustainability. The work seeks through the literature review to study the dominant trends and strategies in pricing and applications of reclaimed water from wastewater recovery and treatment plants. The paper begins by investigating the background of water reuse, referring to water and liquid waste as well as the current state of water resources and water scarcity. The circular economy and its role in water reuse, the importance of water recovery in society and the environment, and types of recovery beyond water are discussed. Next, the wastewater treatment plants and the techniques used for successful wastewater treatment are presented. The factors affecting water recovery as well as the composition and sources of liquid waste are mentioned. Following is a reference to the applications of reclaimed water such as agricultural irrigation, industrial use and others and the situation in the world regarding reclaimed water applications. Then it is the turn of pricing to be mentioned and it investigates pricing methods and pricing cases around the world. The following are the legislations and regulatory frameworks that govern water reuse. Refers to state and organization regulations. Finally, some conclusions are drawn based on the work.

Keywords: Water reuse, water reclamation, wastewater treatment plants, Reclaimed water applications, reclaimed water pricing, standards, water reuse regulations

Contents

Περίληψη.....	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1 ^ο . Εισαγωγή	10
1.1. Υδάτινοι πόροι	10
1.2 Υγρά απόβλητα	15
1.3 Κυκλική οικονομία	17
1.4 Σημασία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού.....	21
1.5 Είδη ανάκτησης από τα υγρά απόβλητα	24
1.5.1 Ανάκτηση θρεπτικών ουσιών.....	24
1.5.2 Ανάκτηση ενέργειας	26
Κεφάλαιο 2ο: Ανάκτηση νερού	28
2.1 Παρουσίαση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων	28
2.2 Στάδια Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	28
2.2.1 Προ Επεξεργασία	30
2.2.2 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία	30
2.2.3 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία.....	32
2.2.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία.....	37
2.2.5 Απολύμανση.....	42
2.3 Τύποι Υγρών αποβλήτων και πηγες λυμάτων.....	45
2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάκτηση νερού	48
Κεφάλαιο 3ο: Επαναχρησιμοποίηση Νερού	49
3.1 Εφαρμογές ανακτώμενου νερού	51

3.2 Άρδευση	51
3.2.1 Προβλήματα Άρδευσης	54
3.2.2 Τεχνικές Άρδευσης	55
3.3 Βιομηχανική χρήση	58
3.4 Περιβαλλοντική Αποκατάσταση	61
3.5 Αστική Χρήση	64
3.6 Ύδρευση	65
3.7 Κατάσταση Επαναχρησιμοποίησης Νερού	67
3.8 Παράγοντες που επηρεάζουν την κοινωνική αποδοχή	73
Κεφάλαιο 4 ^ο : Τιμολόγηση	74
4.1 Κατηγορίες Τιμολόγησης	75
4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμολόγηση του ανακτημένου νερού.	78
4.3 Πηγές Χρηματοδότησης στο πλαίσιο ανάκτησης νερού	81
4.4 Περιπτώσεις Τιμολόγησης	82
4.5 Περίπτωση Ελλάδας	94
Κεφάλαιο 5ο: Νομοθεσία – Πρότυπα	104
Κεφάλαιο 6 ^ο : Συμπεράσματα- Προτάσεις	116
Βιβλιογραφία	118

Κεφάλαιο 1°. Εισαγωγή

1.1. Υδάτινοι πόροι

Το νερό αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό για την ύπαρξη και συντήρηση της ζωής. Βρίσκεται σχεδόν παντού σε διάφορες μορφές. Καταλαμβάνει σχεδόν το 75% της επιφάνειας του πλανήτη μέσω των ωκεανών, υπάρχει ως αέρια μορφή στην ατμόσφαιρα και ως αποθέματα γλυκού νερού στο υπέδαφος και τους πάγους. Σε μικροσκοπική κλίμακα βρίσκεται μέσα σε όλους τους οργανισμούς από τον άνθρωπο και τα ζώα ως τα φυτά και τους μικροοργανισμούς. Αναφορικά ο άνθρωπος αποτελείται από περίπου 60% νερό.

Το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια ανανεώσιμη πηγή αλλά και ως ένας περιορισμένος πόρος. Το 96% του νερού βρίσκεται στους ωκεανούς και είναι αλατούχο δηλαδή μη πόσιμο χωρίς συγκεκριμένη επεξεργασία. Το υπόλοιπο 4% αποτελείται από το γλυκό νερό (~3,99%) και νερό σε αέρια μορφή (~0,01%). Από το γλυκό νερό σχεδόν τα 2/3 είναι παγιδευμένα στους πάγους των πόλων και το υπολίπον είναι στο έδαφος το οποίο χρησιμοποιούμε (~30%). Στην ανανέωση των αποθεμάτων του γλυκού νερού συμβάλει η φυσική ανακύκλωση που γίνεται μέσω της φύσης και την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας και ονομάζεται υδρολογικός κύκλος. Το γλυκό ή αλλιώς πόσιμο νερό είναι περιορισμένο σε ποσότητα αγαθό και η κατανομή του είναι εξαιρετικά άνιση. Ένας ακόμα λόγος για την συνεχή μείωση του διαθέσιμου νερού είναι η ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αστικές, βιομηχανικές και γεωργικές) οι οποίες συμβάλουν κατά ένα μεγάλο μέρος στην ρύπανση των υδάτων είτε πρόκειται για υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα.

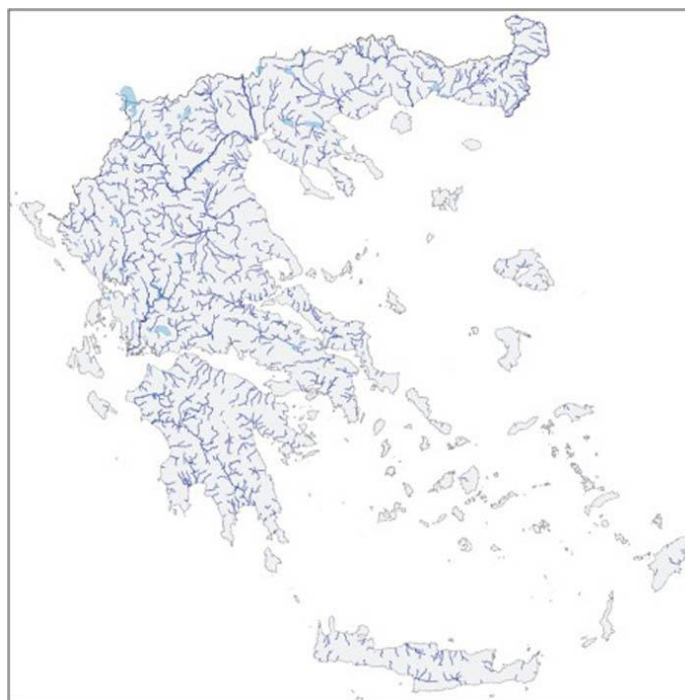
Η τεχνολογική ανάπτυξη που έλαβε μέρος τα τελευταία 150 χρόνια μαζί με την αύξηση του πληθυσμού είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση χρήσης πρώτων υλών και φυσικά του νερού. Όλοι έχουν δικαίωμα στην χρήση του νερό, ωστόσο η διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί μια πρόκληση, καθώς σε πολλές περιοχές απειλείται λόγω υπερβολικής εκμετάλλευσης, ρύπανσης, κλιματικής αλλαγής και υδρολογικών αλλαγών. Δεν μπορεί να γίνετε αλόγιστη χρήση του λόγω της μη ύπαρξης θεσμών και κανόνων για την διαχείριση του. Για αυτό το λόγο

θεσπίστηκαν νομοί για την προστασία του και σωστή χρήση του βάσει των ανθρωπίνων αναγκών αλλά και τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Η σωστή εφαρμογή αυτών θα έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση και ευημερία του περιβάλλοντος ,των ανθρώπων και τη διατήρηση της ποσότητας αυτού του πολύτιμου αγαθού χωρίς να προκαλούμε καταστροφικές συνέπειες στη φύση και έμμεσα σε εμάς. Επίσης, σημαντική είναι και η συνεργασία των κρατών μεταξύ τους καθώς πολλά ποταμιά και λίμνες απλώνονται σε πολλές χώρες.

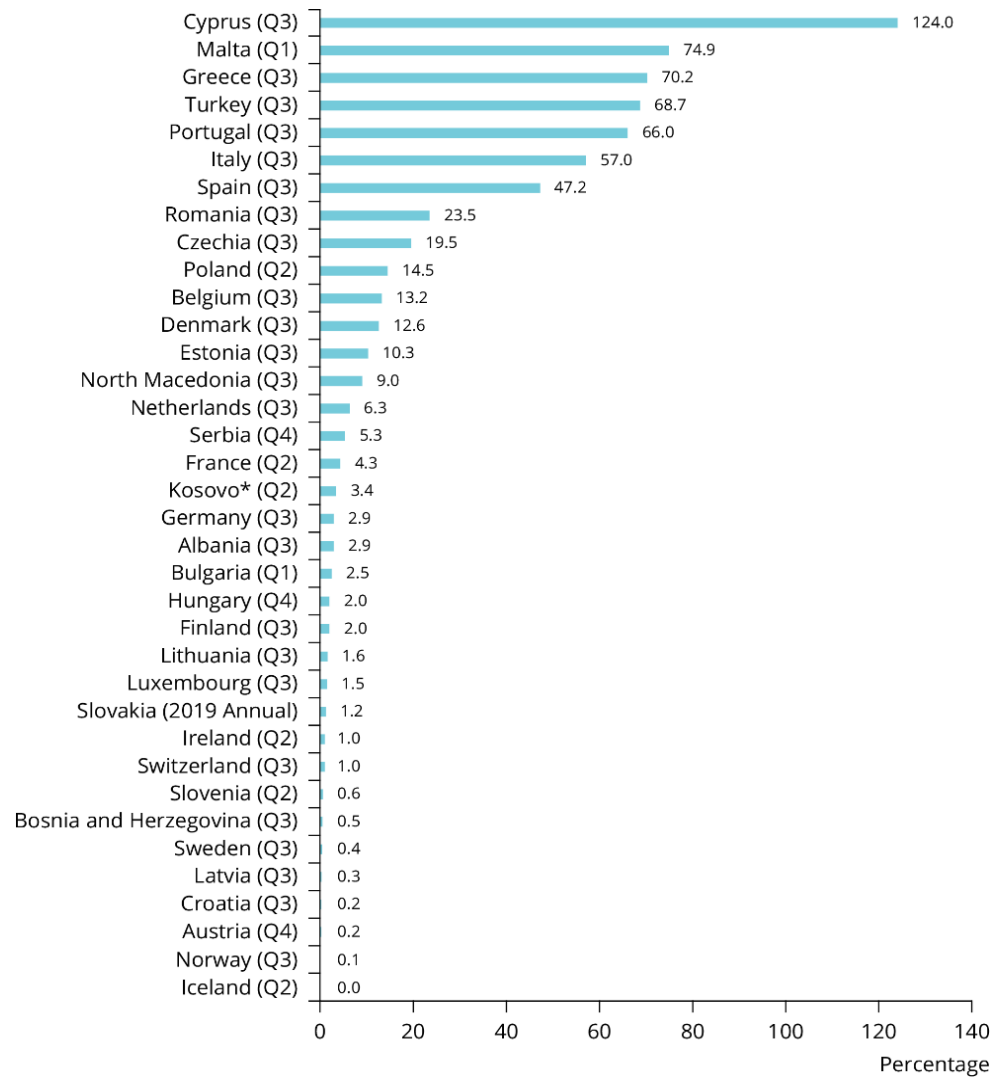
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι βάσεις για την δημιουργία μια τέτοιας δομής έχουν τεθεί από το 2000 μέσω της *Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά (Water Framework Directive -2000/60/EC)*. Αυτή η οδηγία θέτει το πλαίσιο για την προστασία και τη βιώσιμη χρήση των υδάτινων πόρων εντός της ΕΕ. Κύριος στόχος του είναι να επιτύχει «καλή κατάσταση» για όλα τα υδατικά συστήματα (ποτάμια, λίμνες, παράκτια ύδατα και υπόγεια ύδατα) με την εφαρμογή σχεδίων διαχείρισης όπως της λεκάνης απορροής ποταμού και την προώθηση της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων. Λόγοι για τους οποίους η νέα αυτή οδηγία έγινε θεμέλιο για όλες τις επόμενες είναι, η έμφαση που δίνει στην συμμετοχή του κοινού για να διασφαλιστεί μια συμμετοχική και διαφανής διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το έργο του συντονισμού για τα νερά στη χώρα μας έχει αναλάβει το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, μέσω της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων.



Εικόνα 1: Υδρολογικός Κύκλος



Εικόνα 2: Οι κυριότεροι ποταμοί της Ελλάδας (υδρογραφικό δίκτυο που περιλαμβάνει όλους τους κλάδους από 4η τάξη και πάνω)[2].



Εικόνα 3: Οι χειρότερες συνθήκες εποχικής λειψυδρίας για τις ευρωπαϊκές χώρες το 2019, μετρημένες με τον δείκτη εκμετάλλευσης νερού συν (WEI+). Ο δείκτης εκμετάλλευσης νερού συν (WEI+) συγκρίνει τη χρήση νερού με ανανεώσιμες πηγές νερού.

Available water resources - 2014
1000 m³ per capita

- More than 10
- More than 5 and less than 10
- More than 1 and less than 5
- Less than 1

Fresh water withdrawals
% of total resources

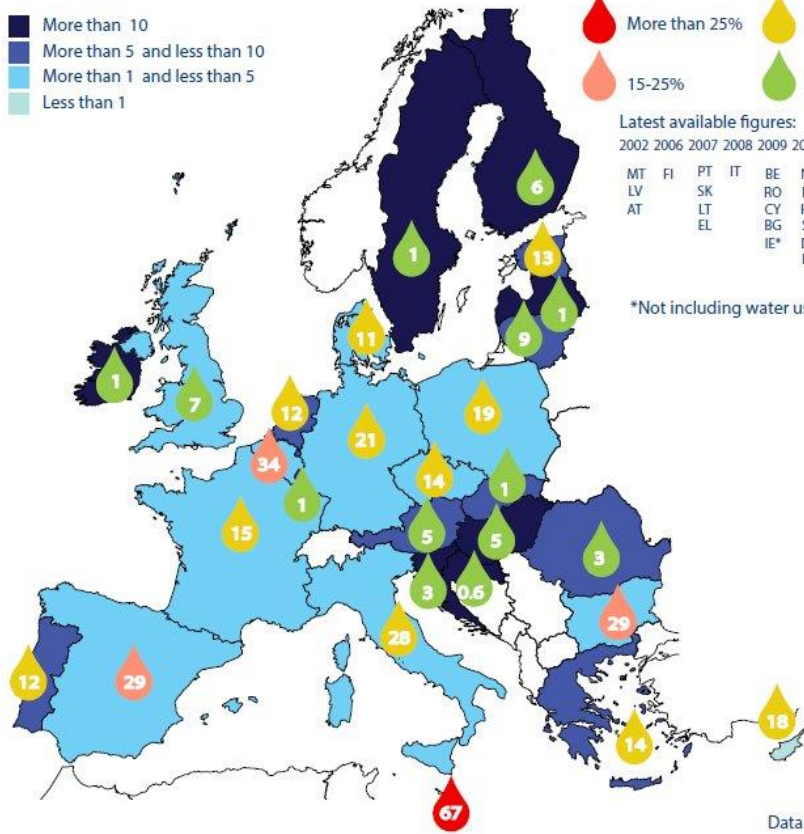
- More than 25%
- 5-15%
- 15-25%
- Less than 5%

Latest available figures:

2002 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012

MT	FI	PT	IT	BE	NL	UK	SI
LV		SK		RO	ES		LU*
AT		LT		CY	HR		HU
		EL		BG	SE		DK
				IE*	DE		EE
					FR		PL
							CZ

*Not including water used for agriculture



Data source: [FAO-Aquastat](#)

Εικόνα 4: Available water resources – 2014. 1000 m³ per capita | Epthinktank
| European Parliament

1.2 Υγρά απόβλητα

Τα υγρά απόβλητα αναφέρονται στα απόβλητα που βρίσκονται σε υγρή μορφή. Αυτά τα απόβλητα μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές και τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας και απαιτούν ειδική μεταχείριση και διάθεση για να αποφευχθεί η ρύπανση του περιβάλλοντος και των υδάτων. Μερικά από τα παραδείγματα υγρών αποβλήτων είναι τα λύματα (ή οι αποχετεύσεις) που προέρχονται από οικιακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα επικίνδυνα υγρά απόβλητα που προέρχονται από χημικές εργασίες, τα απόβλητα πετρελαίου, τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα κ.α. Η ανεξέλεγκτη διάθεση των υγρών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως ρύπανση του εδάφους και των υδάτων και απειλές για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων. Για τον λόγο αυτό, η διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι αναγκαία και πρέπει να γίνεται με τρόπο που να προστατεύει το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Στις περισσότερες χώρες έχουν θεσπιστεί μέτρα για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, προσπαθώντας να μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον αλλά στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού. Για τον λόγο αυτό η διαχείριση των υγρών αποβλήτων έχει ορισμένες ειδικές διαδικασίες για τη συλλογή, αλλά και τη μεταφορά, την αποθήκευση, την επεξεργασία και τέλος την διάθεσή τους.



Εικόνα 5: Υγρά αστικά απόβλητα.

Οι κατηγορίες των υγρών αποβλήτων μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο ταξινόμησης που χρησιμοποιείται, αλλά μπορούν να περιλαμβάνουν και τις εξής κύριες κατηγορίες:

1. Οικιακά υγρά απόβλητα: Τα οικιακά απόβλητα που παράγονται από νοικοκυριά περιλαμβάνουν απόβλητα από κουζίνες, μπάνια, τουαλέτες και άλλες οικιακές δραστηριότητες και αποτελούνται από απορρυπαντικά, φάρμακα κλπ.
2. Βιομηχανικά υγρά απόβλητα: Αυτά προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες και μπορεί να περιλαμβάνουν επεξεργασμένα νερά, λύματα, χημικά απόβλητα και άλλα υγρά που παράγονται από τις εργασίες των επιχειρήσεων.
3. Επικίνδυνα υγρά απόβλητα: Αυτά είναι υγρά απόβλητα που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες, όπως τοξικά χημικά, εύφλεκτα υλικά, διαβρωτικές ουσίες, φάρμακα, ιατρικά απόβλητα και μολυσματικά υλικά κλπ. Συχνά προέρχονται από βιομηχανικές διαδικασίες, επεξεργασία αποβλήτων, ιατρικές ή κλινικές εγκαταστάσεις και άλλες παρόμοιες πηγές.
4. Απόβλητα πετρελαίου και λαδιών: Αυτά περιλαμβάνουν τα μεταλλαγμένα λάδια από μηχανές και οχήματα, καθώς και άλλα πετρελαιοειδή υγρά που προέρχονται από βιομηχανικές διεργασίες.
5. Γεωργικά υγρά απόβλητα: Αυτά προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες και μπορεί να περιλαμβάνουν λύματα από κτηνοτροφία, γεωργικά χημικά, κοπές φυτών και άλλες γεωργικές δραστηριότητες..

Οι παραπάνω κατηγορίες δεν είναι αποκλειστικές, και τα υγρά απόβλητα μπορούν να περιλαμβάνουν μία ποικιλία υλικών ανάλογα με τις πηγές παραγωγής τους. Η σωστή διαχείριση και επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος και την διατήρηση της υγείας του πληθυσμού.

1.3 Κυκλική οικονομία

Η κυκλική οικονομία είναι ένα μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης που βασίζεται στην ανακύκλωση και την αξιοποίηση πόρων. Στόχος της είναι η αύξηση αποδοτικότητας των πρώτων υλών με παράλληλη μείωση χρήσης φυσικών πόρων, οι οποίες σχεδιάζονται να χρησιμοποιηθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αντί να παράγει προϊόντα και αγαθά που καταλήγουν χωματερές, η κυκλική οικονομία σχεδιάζει τα προϊόντα έτσι ώστε να μπορούν να ανακυκλώνονται, επαναχρησιμοποιούνται ή αναπαράγονται. Η κυκλική οικονομία είναι η προσπάθεια για τη μείωση των αποβλήτων στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο.

ΑΥΡΙΟ: ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ



Εικόνα 6: Κυκλική οικονομία.

Η κυκλική οικονομία έχει συνδυαστεί με την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης και έχει κερδίσει μεγάλο ενδιαφέρον από τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές που επιθυμούν να συμβάλουν στην προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της παράγωγης. Η μετάβαση από μια γραμμική οικονομία, όπου τα προϊόντα απορρίπτονται μετά τη χρήση, σε μια κυκλική οικονομία αποτελεί σημαντικό βήμα για την επίτευξη αυτών των στόχων.

Η κυκλική οικονομία συμβάλλει στη μείωση της υπερβολικής εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων και της παραγωγής αποβλήτων, ενισχύοντας την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση υλικών. Τα οφέλη της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνουν:

- Μείωση των αποβλήτων και κατά συνέπεια της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης
- Προώθηση της Οικονομίας του Κλειστού Κύκλου δηλαδή της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης
- Καινοτομία και Ανάπτυξη
- Δημιουργία Πράσινων Επιχειρήσεων

Ωστόσο, η επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες από τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και την κοινωνία. Χρειάζεται να ενθαρρύνονται και να υποστηρίζονται πολιτικές και μέτρα που προωθούν την κυκλική οικονομία, όπως κίνητρα για την ανακύκλωση και εκπαιδευτικά προγράμματα για την ευαισθητοποίηση του κοινού.



Εικόνα 7: Η κυκλική οικονομία

Συγκεκριμένα η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επιδείξει ισχυρή δέσμευση για την προώθηση και ενθάρρυνση της κυκλικής οικονομίας. Έχει θεσπίσει νόμους, κανονισμούς και σχέδια δράσης που προωθούν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση πόρων. Ορισμένα από τα σημαντικότερα νομοθετικά μέτρα και σχέδια δράσης περιλαμβάνουν:

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την πρώτη της στρατηγική για την Κυκλική Οικονομία τον Δεκέμβριο του 2015 (*Βρυξέλλες, 4.3.2019 COM(2019) 190 final*). Η στρατηγική αυτή θέτει στόχους για την ανακύκλωση, την εξοικονόμηση πόρων και τη μείωση των αποβλήτων και έχει ως στόχο την προώθηση της κυκλικής οικονομίας σε όλους τους τομείς.

Η Οδηγία για τα Απόβλητα (2008/98/ΕΚ) έχει ως στόχο την προώθηση της κυκλικής οικονομίας μέσω της βελτίωσης της διαχείρισης των αποβλήτων, της πρόληψης της παραγωγής αποβλήτων και της αύξησης της ανακύκλωσης.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε την οδηγία για τα πλαστικά (2019/904/ΕΚ) με στόχο τη μείωση της χρήσης πλαστικών, την ανακύκλωση των πλαστικών αποβλήτων και τη μείωση της πλαστικής ρύπανσης στα θαλάσσια περιβάλλοντα.

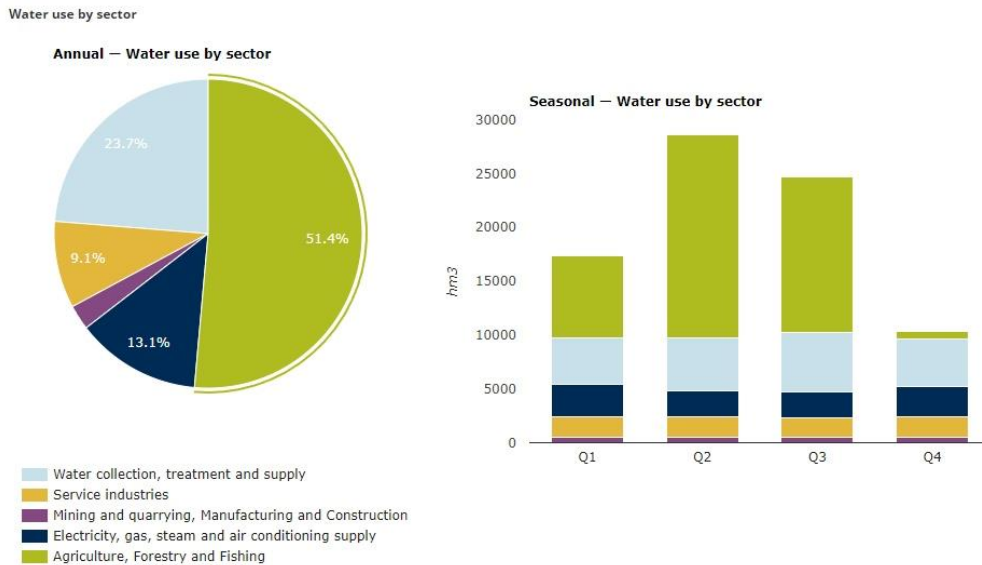
Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα LIFE: Το πρόγραμμα LIFE είναι το χρηματοδοτικό μέσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κυκλική οικονομία, τη προστασία του περιβάλλοντος, τη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων.

Τα παραπάνω είναι κάποια από τα σημαντικότερα νομοθετικά μέτρα και σχέδια δράσης που έχουν ληφθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Επίσης παρακάτω φαίνονται κάποια από τα πιο πρόσφατα σχέδια δράσης για την κυκλική οικονομία.

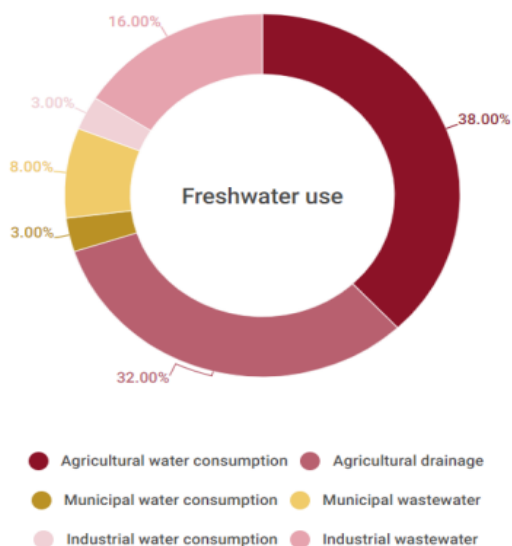
- Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2020 παρουσίασε το σχέδιο δράσης που στοχεύει στον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων, τη μείωση αποβλήτων και την ενδυνάμωση των πολιτών. Επίσης δίνεται πολύ έμφαση σε κλάδους με υψηλή ένταση πόρων όπως τα υφάσματα, τα πλαστικά, οι κατασκευές και τα ηλεκτρονικά.
- Το Κοινοβούλιο το 2021 ενέκρινε ψήφισμα σχετικά με το σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία ζητώντας να ενταχθούν νέα μέτρα για την επίτευξη μιας ουδέτερης ως προς τον άνθρακα, περιβαλλοντικά βιώσιμης αλλά και χωρίς τοξικές ουσίες και πλήρως κυκλικής οικονομίας έως το 2050.
- Το Μάρτιο του 2022 πρότεινε μετρά για την επιτάχυνση της μεταφοράς σε μια κυκλική οικονομία. Τα προτεινόμενα μέτρα συμπεριλαμβάνουν την προώθηση βιώσιμων προϊόντων, την ενδυνάμωση των καταναλωτών για την πράσινη μετάβαση, την αναθεώρηση του κανονισμού για τα προϊόντα του κατασκευαστικού τομέα.
- Το Νοέμβριο του 2022 εισάχθηκαν νέοι κανόνες για τις συσκευασίες που στοχεύουν στη βελτίωση του σχεδιασμού συσκευασιών, την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης προϊόντων. Προτάθηκε επίσης την μετάβαση προς τα πλαστικά βιολογικής προέλευσης, τα οποία είναι λιπασματοποιήσιμα και βιοαποδομήσιμα πλαστικά.

1.4 Σημασία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών είναι μια πρακτική που χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες, έχοντας τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς, σύμφωνα με τους Angelakis et al. (2005).



Εικόνα 8: Χρήση Νερού ανά τομέα και με εποχή. (European Environment Agency, European Parliament)



Εικόνα 9: Παγκόσμια κατανάλωση νερού και παραγωγή υγρών αποβλήτων ανά τομέα (United Nations World Water Development Report, 2017).

Όπως παρατηρείται ο τομέας με την μεγαλύτερη χρήση νερού είτε παγκοσμίως είτε στην Ευρώπη είναι ο αγροτικός, τον ακολουθεί ο βιομηχανικός τομέας και τελευταίος είναι ο τομέας παροχής ύδρευσης. Γίνεται κατανοητό ότι η μεγαλύτερη ποσότητα γλυκού νερού από τις επιφανειακές και υπόγειες πηγές χρησιμοποιείται για εφαρμογές διαφορετικές τις ύδρευσης. Όπως έχει αναφερθεί το γλυκό νερό είναι ζωτικής σημασίας στον άνθρωπο και η χρήση του σε άλλες εφαρμογές πέρα της πόσης, μπορεί να εμφανιστεί ως άσκοπη ή αλόγιστη. Αν προστεθούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται τα τελευταία χρόνια όπως οι ξηρασίες και στέρεψη πηγών νερού τότε υπάρχει σοβαρό πρόβλημα διαχείρισης και πρέπει να ξανασκεφτούμε την στρατηγική διαχείρισης νερού. Η στρατηγική της Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είχε εισέλθει στην κοινωνία από παλιά, αλλά στόχος της ήταν η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την ασφαλή διάθεση τους στο περιβάλλον. Αυτή η στρατηγική θεωρείται πια ξεπερασμένη και στην θέση της έχουμε την ανάκτηση νερού και την επαναχρησιμοποίηση του για την κάλυψη των αναγκών μας.

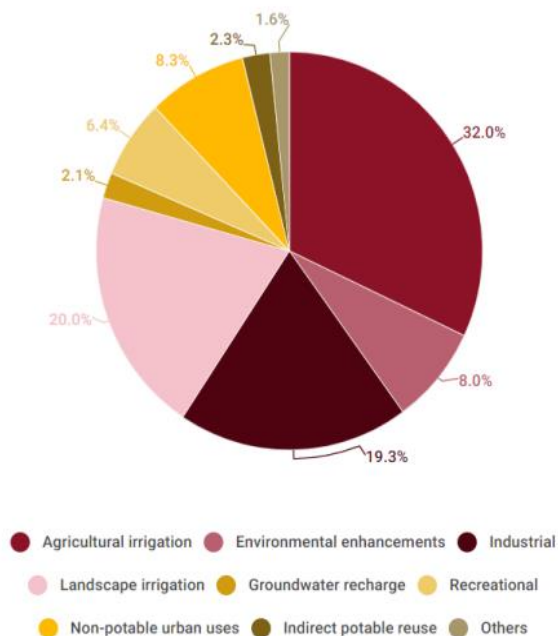
Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού είναι ένα από τα αναπόσπαστα πλέον συστήματα που εφαρμόζονται που αποσπούν στην καλύτερη διαχείριση και διατήρηση των υδατικών πόρων στη φύση. Το σύστημα αυτό δεν αναφέρεται μόνο για συγκεκριμένες περιοχές που υποφέρουν από υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασίες με αποτέλεσμα να έχουν μειωμένη πρόσβαση σε καθαρό νερό αλλά και σε περιοχές που τέτοια προβλήματα δεν παρουσιάζονται. Μερικοί από τους παράγοντες που συγκλίνουν προς την κατεύθυνση αυτή, είναι:

- Τα ελλειμματικά αποθέματα υδατικών πόρων σε πολλές περιοχές ανά τον κόσμο
- Η αυξανόμενη ζήτηση νερού στις αναπτυγμένες κοινωνίες
- Το υψηλό κόστος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τον σχεδιασμό και την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων.
- Η ανάγκη διαφύλαξης των υδατικών πόρων και μείωσης της μόλυνσης του νερού.

Αυτοί οι παράγοντες δείχνουν πως η διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι μονόδρομος. Αποτελώντας έτσι τη μοναδική εναλλακτική πηγή νερού.

Ο κύριος σκοπός της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων είναι η μετατροπή τους σε προϊόντα που μπορούν εκ νέου να διοχετευθούν σε κάποιον αποδέκτη, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί κάποιον κίνδυνο για τον άνθρωπο αλλά και το περιβάλλον. Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων γίνεται πλέον με πολλές διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε με βάση τις ανάγκες μας. Η επικρατέστερη είναι των μονάδων βιολογικών καθαρισμών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία ενεργού ιλύος. Σύμφωνα με (B. Μοίρας · 2023) πολλές χώρες αρχίζουν και χρησιμοποιούν παραδοσιακές μεθόδους ανάκτησης και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με συστήματα φιλικά προς το περιβάλλον, συμβατά με φυσικές διεργασίες και χωρίς ενεργοβόρα μηχανήματα στα οποία το τελικό νερό χρησιμοποιείται για μη ποσίμους λογούς όπως την άρδευση.

Το πρώτο και βασικότερο προϊόν της ανάκτησης νερού είναι το ανακτώμενο νερό. Ανάλογα την διαδικασία, την προορισμένη χρήση του και τα πρότυπα ποιότητας που έχουν τεθεί από τους φορείς, το ανακτώμενο νερό αξιοποιείται για διάφορες χρήσεις, οι οποίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μη-πόσιμη χρήση και πόσιμη χρήση. Από το πόσιμο νερό που υπάρχει στη γη τα 2/3 αυτού προορίζονται για την γεωργία το οποίο μας αφήνει με το υπόλοιπο 1/3 για πόσιμη κατανάλωση. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι η πιο προφανής και άμεση λύση στην έλλειψη νερού και συμβάλει διπλά στη μείωση των επιπτώσεων αν τα απόβλητα αφεθούν ελεύθερα και την διατήρηση του φρέσκου νερού.



Εικόνα 10: Παγκόσμια χρήση ανακτώμενου νερού (United Nations World Water Development Report, 2017).

1.5 Είδη ανάκτησης από τα υγρά απόβλητα

1.5.1 Ανάκτηση θρεπτικών ουσιών

Πέραν της ανάκτησης νερού κατά την διαδικασία μπορεί να γίνει και ανάκτηση άλλων προϊόντων όπως θρεπτικά συστατικά αλλά και ενέργεια. Τα θρεπτικά συστατικά βρίσκονται στην λάσπη των αποβλήτων μαζί με μικροπλαστικά και παθογόνους μικροοργανισμούς.

Τα θρεπτικά συστατικά είναι κυρίως το άζωτο και ο φώσφορος, τα οποία προέρχονται κυρίως από ανθρωπινά περιττώματα, το φαγητό και σαπυνοειδή προϊόντα και απορρυπαντικά τα οποία είναι πολύτιμα για τη γεωργία, καθώς χρησιμοποιούνται ως λίπασμα. Τα απόβλητα που δεν επεξεργάζονται προκαλούν μόλυνση του τοπικού περιβάλλοντος. Καθώς η περίσσεια αζώτου και φωσφόρου είναι η κύρια αιτία της υποβάθμισης του νερού σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.

Ο φώσφορος, ειδικά, είναι ένα αναγκαίο στοιχείο για τη διατήρηση της ζωής στη Γη και είναι σημαντικό για την παραγωγή τροφής (*Wastewater to R3- Minh T. Vu*). Ένας τρόπος για να βρεθεί ο φώσφορος είναι η εξόρυξή του, από τα αποθέματα αυτά προβλέπεται πως θα εξαντληθούν μέσα στα επόμενα 50-100 έτη. Καθημερινά απορρίπτονται τεράστιες ποσότητες σε φώσφορο με την πιθανότητα περιβαλλοντικών προβλημάτων χωρίς συγκεκριμένες διαδικασίες καθαρισμού. Σύμφωνα με τον (*Wastewater to R3- Minh T. Vu*) 3-3,3 εκ. κυβικά μετρά φωσφόρου μπαίνουν σε μονάδες υγρών αποβλήτων ετησίως. Μόνο μέσω της ανακύκλωσης των αποβλήτων, θα μπορούσε να καλυφθεί το 22% της παγκόσμιας ζήτησης σε φώσφορο. Η μελλοντική έλλειψη φωσφόρου έχει οδηγήσει σε εκτενή έρευνα σχετικά με το πώς μπορεί αυτός να ανακτηθεί από τα απόβλητα, με ορισμένες, τελευταίας τεχνολογίας εγκαταστάσεις επεξεργασίας να το καταφέρνουν. Μια τέτοια μονάδα επεξεργασίας, η οποία ανακτά το 85% του φωσφόρου και το 15% του συνολικού αζώτου που εμπεριέχεται στα απόβλητα είναι στο Σικάγο των ΗΠΑ, σύμφωνα με (B. Μοίρας · 2023).

Το άζωτο από την άλλη χαρακτηρίζεται από άφθονη παρουσία στην ατμόσφαιρα. Από το 1909 και την εφεύρεση της διεργασίας Haber-Bosch, η οποία επέτρεψε το μετασχηματισμό του ατμοσφαιρικού αζώτου σε αμμωνία, τα λιπάσματα με βάση το άζωτο έχουν δώσει την ιστορικά μεγαλύτερη αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία.

Η μεγαλύτερη παραγωγή τροφής που επιτεύχθηκε από τη χρήση λιπασμάτων εισήγαγε όμως το άζωτο στην ανθρώπινη διατροφή, σε υπερβολικά μεγάλες ποσότητες. Γι' αυτό και θα πρέπει τα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων να προβούν σε ενέργειες ανάκτησης του αζώτου από αυτά. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες επιτρέπουν μια ανάκτηση αζώτου από τα λύματα που δεν ξεπερνά το 15%.

Πέρα από το άζωτο και το φώσφορο, το ενδιαφέρον της σχετικής επιστημονικής κοινότητας εστιάζει και στην ανάκτηση επιπλέον στοιχείων που εμπεριέχονται στα λύματα, όπως είναι τα βίο-πλαστικά, τα ένζυμα, μέταλλα και ορυκτά. Για τα συγκεκριμένα χρειάζονται περισσότερες έρευνες και συνεχής πειραματισμούς για την εύρεση της κατάλληλης διαδικασίας ανάκτησης

ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμη επιλογή και να ανοιχτούν με αυτό τον τρόπο καινούργιες αγορές και ευκαιρίες (Varsha Bohra, 2022).

Στην Ε.Ε τα WWTPs (μονάδων επεξεργασίας λυμάτων) καταναλώνουν το 0.8% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού. Έρευνες έχουν δείξει πως τα υγρά απόβλητα περιέχουν 5 φορές την ενέργεια που δαπανάται για τη λειτουργία των εργοστασίων. Αυτό σημαίνει πως οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις μπορούν να παράγουν την ενέργεια που χρειάζονται, αλλά και να τροφοδοτήσουν με ηλεκτρισμό και θέρμανση τις ίδιες τις πόλεις που παράγουν απόβλητα. Η ανάκτηση ενέργειας αφορά την θερμική και χημική ενέργεια. Βάση μελετών ανάκτησης έχει ειπωθεί πως 80% θερμικής ενέργειας είναι ανακτήσιμη και μόλις 20% χημικής είναι ανακτήσιμη. Χημική ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί μέσω του βιοαερίου που παράγεται από τα απόβλητα και να αποθηκευτεί και να διατεθεί μέσω των υποδομών φυσικού αερίου. Όσο αναφορά την θερμική ενέργεια μπορεί να εξαχθεί με ανάλλακτες και αντλίες θερμότητας και να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, ψύξη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το WWTPs του Αμβούργου το οποίο παράγει ενέργεια ώστε να καλύπτει τις ανάγκες της μονάδας καθώς και των τριγύρω κοινότητας.

Η συνεχιζόμενη χρήση της τεχνολογίας και ο στρατηγικός σχεδιασμός μπορούν να οδηγήσουν στην ακόμα μεγαλύτερη αξιοποίηση αυτών των ανεκμετάλλευτων πηγών ενέργειας.

1.5.2 Ανάκτηση ενέργειας

Η αξιοποίηση της ενέργειας στις (μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων) WWTPs αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την επίτευξη της βιωσιμότητας αυτών των διεργασιών. Μελέτες έχουν εκτιμήσει ότι η ενέργεια που κρύβεται στα υγρά απόβλητα είναι περίπου 10 έως 12 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της αντίστοιχης μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Gude, 2016).

Για την ανάκτηση της ενέργειας από τα υγρά απόβλητα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες, όπως η αναερόβια χώνευση με ταυτόχρονη παραγωγή βιοαερίου, η χημική

οξείδωση της λυματολάσπης και η θερμική επεξεργασία της λυματολάσπης (Kacprzak και Kurich, 2021).

Το βιοαέριο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων έχει περίπου 6,5 kWh/m³ και περιέχει περίπου 65% μεθάνιο, και αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας για τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Υπολογίζεται πως οι μονάδες που λειτουργούν με αναερόβια χώνευση καταναλώνουν περίπου 40% λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων (Ewa Neczaj, Grosser, 2018).

Η ανάκτηση της ενέργειας από τα WWTPs εφαρμόζεται ευρέως σε πολλές χώρες, όπως η Αυστρία (Strass), η Γερμανία (Steinhof) και η Αμερική (Sheboygan) (Yifan Gu et al. 2017). Στη Νορβηγία, η αναερόβια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι κοινή πρακτική και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή 95 εκατομμυρίων Nm³ βιοαερίου το 2006, από το οποίο παράχθηκαν 143 MWh ενέργειας και θερμότητας

Στην Ελλάδα, το βιοαέριο που παράγεται από τη μονάδα επεξεργασίας της Ψυττάλειας χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τη λειτουργία δύο συστημάτων ισχύος και θερμότητας (Combined Heat and Power plants, CHP) με ισχύ 11,4 MW, τα οποία καλύπτουν μεγάλο ποσοστό των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών της μονάδας, ενώ η περίσσεια ενέργειας πωλείται στο εθνικό δίκτυο ενέργειας (E.YD.A.P) (Psyttalia Wastewater Treatment Plant, 2020).

Συνολικά, η συνδυασμένη χώνευση λυμάτων και άλλων βιοδιασπώμενων αποβλήτων προσφέρει μια εναλλακτική και οικονομικά επωφελή λύση, καθώς επιτρέπει την αξιοποίηση της ενέργειας που δημιουργείται από τα απόβλητα, καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών αναγκών μιας μονάδας επεξεργασίας ΥΑ ή ακόμη και γειτονικών κτιρίων.

Κεφάλαιο 2ο: Ανάκτηση νερού

2.1 Παρουσίαση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν βασικό και απαιτούμενο στοιχείο στη διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Ο σκοπός τέτοιων εγκαταστάσεων είναι η εξασφάλιση της ποιότητας του ανακτώμενου νερού, απομάκρυνση επιβλαβών ουσιών και τη μείωση των επιπτώσεων του στο περιβάλλον. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εγκαταστάσεις είναι ποικίλες. Απαρτίζονται από μηχανικές, βιολογικές και φυσικοχημικές τεχνολογίες.

Η επιλογή των τεχνολογιών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Αρχικά υπάρχει ο παράγοντας του χώρου, τη διαθέσιμη έκταση για την δημιουργία της εγκατάστασης. Η ποσότητα των λυμάτων που θα υπόκειται να επεξεργαστεί σε καθημερινή βάση, που με τη σειρά του αυτό εξαρτάται από τον πληθυσμό της περιοχής, την χρήση νερού και την ποσότητα δημιουργημένων αποβλήτων. Η ποιότητα των αποβλήτων μπορεί να επιφέρει διαφορετικές τεχνολογίες επεξεργασίας ανάλογα την σύσταση τους. Τα πρότυπα ποιότητας του ανακτώμενου νερού που πρέπει να ακολουθούνται πριν την επαναχρησιμοποίηση του ή διάθεση του στα υδάτινα σώματα. Τέλος ο οικονομικός παράγοντας στον οποίο συμπεριλαμβάνεται τα κόστη δημιουργίας της μονάδας και της λειτουργίας της. Τα παραπάνω θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο.

Η διαχείριση λυμάτων ορίζεται από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ και στην Ελλάδα η εν λόγω οδηγία έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997. Βάση της οδηγίας, οικισμοί άνω των 2000 κάτοικων θα πρέπει να φέρουν αποχετευτικό δίκτυο και εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στην Ελλάδα σε πολλές περιπτώσεις αυτό δεν είναι αληθές. Για παράδειγμα οικισμός Νεμέας, πληθυσμός περίπου 3500 άτομα δεν φέρει, μέχρι την συγγραφή της εργασίας εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.

2.2 Στάδια Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελεί μια εγκατάσταση στην οποία διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες χρησιμοποιούνται με σκοπό την διαχώριση επικινδύνων ουσιών από το νερό στα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να

επαναχρησιμοποιηθεί με ασφάλεια. Μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία επίπεδα επεξεργασίας.

Αρχικά η **προ επεξεργασία** η οποία χρησιμοποιεί μηχανικές και φυσικές διεργασίες για τον καθαρισμό των υγρών αποβλήτων από στερεά σωματίδια, χαλίκια, λίπη και έλαια για την ομαλή λειτουργία των μηχανήματων. Συνεχίζοντας τα απόβλητα περνούν στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας ή **πρωτοβάθμια επεξεργασία** αποτελείται από φυσικές και χημικές διαδικασίες που έχουν σκοπό την απομάκρυνση στέρεων σωματιδίων και την ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου έως και 60%. Πρόκειται για διεργασίες φυσικές δηλαδή δεν είναι ενεργειακά και οικονομικά απαιτητικές όπως είναι οι προχωρημένες επεξεργασίες. Υπάρχει η δυνατότητα ενισχυμένης πρωτοβάθμιας επεξεργασίας με την χρήση φίλτρων. Η **δευτεροβάθμια επεξεργασία** αποσκοπεί στην μείωση οργανικού φορτίου των λυμάτων με χρήση βιολογικών τεχνικών (μικροοργανισμοί) και χημικών. Τα τελευταία χρονιά ο βιολογικός καθαρισμός κερδίζει έδαφος λόγω των μικρότερων επιπτώσεων που έχει έναντι των χημικών. Οι βιολογικές τεχνικές χρησιμοποιούν μικροοργανισμούς για την επεξεργασία των λυμάτων και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αερόβιες, αναερόβιες και ανοξικές διεργασίες. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία επιτυγχάνει μείωση 80-90% του οργανικού φορτίου. Συνήθως η δευτεροβάθμια επεξεργασία συνοδεύεται από απολύμανση και αφαίρεση θρεπτικών ουσιών. Η **τριτοβάθμια επεξεργασία** ή προχωρημένη επεξεργασία χρησιμοποιεί μηχανικές και χημικές διεργασίες για τον περαιτέρω καθαρισμό των λυμάτων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται εδώ βασίζονται στην χρήση για την οποία προορίζετε το ανακτώμενο νερό. Για παράδειγμα η ανάκτηση νερού με προορισμό την πόσιμη χρήση έχει διαφορετική και αυστηρότερη επεξεργασία από αυτή που προορίζεται για βιομηχανική χρήση ή γεωργική. Εδώ συμπεριλαμβάνεται τυπικά η απολύμανση και αφαίρεση θρεπτικών συστατικών. Ταυτόχρονα με τις παραπάνω επεξεργασίες γίνεται και η επεξεργασία της 'λάσπης' που συσσωρεύεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία

Παρακάτω αναφέρονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

2.2.1 Προ Επεξεργασία

Προ επεξεργασία είναι το στάδιο στο οποίο απομακρύνονται στερεά μεγέθους μέχρι και 2cm (για παράδειγμα ξύλων, φύλλων, πλαστικών κλπ.). Αυτό γίνεται για την αποφυγή καταστροφής του εξοπλισμού επεξεργασίας, την μείωση της αποτελεσματικότητας των διεργασιών και συσσώρευση όγκου αποβλήτων σε σημεία που θα προκαλέσουν έμφραξη αγωγών. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η εσχάρωση, η εξάμμωση και η απολίπανση.

Εσχάρωση είναι η διαδικασία κατά την οποία σχάρες με διάκενα διάφορων μεγεθών ($20\mu\text{m} < \text{διάκενα} < 50\text{mm}$) παρακάμπτουν συνήθως κάθετα ή με κλίση την ροή των υγρών αποβλήτων επιτρέποντας την συλλογή των στέρεων σωματιδίων. Τα υπολείμματα έχουν υψηλή υγρασία και οργανικό φορτίο και διατίθενται για ταφή, καύση ή άλεση.

Εξάμμωση είναι παρόμοια διαδικασία με την εσχάρωση με διαφορά την υψηλή κατακράτηση στερεών υλικών ειδικού βάρους (έως και 2700kg/m^3). Ομοίως προστατεύει τον μηχανολογικό εξοπλισμό, μειώνει την ανάγκη καθαρισμού των μηχανήματων και αγωγών και συνδέεται εύκολα με την διαδικασία της λιποσυλλογής.

Λιποσυλλογή είναι η απομάκρυνση λιπών και ελαίων από τα υγρά απόβλητα για αποφυγή έμφραξης. Εμφανίζουν μεγάλη απόδοση κατακρατώντας σχεδόν 90% των λιπών και ελαίων στα υγρά απόβλητα.

2.2.2 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

Στην συνέχεια τα υγρά απόβλητα ρέουν προς την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Εδώ γίνεται η αφαίρεση της μεγαλύτερης ποσότητας στερεών ουσιών και αφαίρεση έως και 60% του ρυπαντικού φορτίου. Οι πρωτοβάθμια επεξεργασία αποτελείται από μηχανικές, φυσικές και χημικές διεργασίες.

Κροκύδωση είναι η διαδικασία κατά την οποία σε δεξαμενή υγρών αποβλήτων προστίθενται χημικές ουσίες που ονομάζονται κροκιδωτικά με στόχο την συνένωση πολλών μικρών σωματιδίων ($< 10\mu\text{m}$) για τη δημιουργία μεγαλύτερων στέρεων σωματιδίων που στην συνέχεια θα απομακρυνθούν με καθίζηση.

Κατακάθιση – Καθίζηση είναι μια βασική διαδικασία που μπορεί να ενταχθεί και στις τρεις βαθμίδες επεξεργασίας και είναι ευρέως γνωστή λόγω της αποτελεσματικότητας της. Πρόκειται για μια φυσική διεργασία η οποία χρησιμοποιεί ως κύριο μηχανισμό την βαρύτητα για την απομάκρυνση ουσιών που κατακάθονται στο πυθμένα μεγάλων δεξαμενών που φέρουν ορθογώνια ή κυκλική μορφή. Ο χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων στην δεξαμενή αναλογεί με βάση την προέλευση και την σύσταση των υγρών αποβλήτων (άλατα, θολότητα), το μέγεθος τους και των φυσικών μεταβολών (πχ. άνεμος). Μια τυπική διαδικασία κρατάει από 1.5 έως 3 ώρες και επιτυγχάνει έως και 50% απομάκρυνση σωματιδίων (πρωτοβάθμια) και έως 90% (δευτεροβάθμια) και μείωση έως 30% οργανικού φορτίου (BOD). Οι καθιζάνουσες ουσίες στον πυθμένα δημιουργούν ένα είδος λάσπης (ιλύος) το οποίο συλλέγεται για περαιτέρω επεξεργασία. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό πάγιο κόστος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μειονέκτημα είναι η απαίτηση σε χώρο, καθώς σχεδιάζονται βάση του μέγιστου φορτίου που θα εξυπηρετήσουν και η αργή διαδικασία.

Επίπλευση είναι διαδικασία παρομοία με την καθίζηση, στηρίζεται στην βαρύτητα και αποτελεί παρομοίως το πρώτο στάδιο απομάκρυνσης σωματιδίων. Στην περίπτωση αυτή υλικά με μικρότερη πυκνότητα από το νερό, όπως αιρούμενα σωματίδια, κολλοειδή επιπλέουν στην επιφάνεια της δεξαμενής. Η επίπλευση επιτυγχάνεται με δυο τρόπους, φυσικά με βάση την διαφορά πυκνοτήτων ή τεχνητά με την είσοδο φυσαλίδων (αέρα, οξυγόνου -υδρογόνου). Λόγω κόστους λειτουργίας και λειτουργικότητας (πιο περιπλοκή λειτουργία) συνήθως δεν προτιμάται αυτή η μέθοδος επεξεργασίας, εκτός αν υπάρχει συγκεκριμένη ανάγκη όπως η ύπαρξη μεγάλης συγκέντρωσης θρεπτικών ουσιών.

Διήθηση διενεργείται μετά την διαδικασία της καθίζησης και αποσκοπεί στην περαιτέρω απομάκρυνση ουσιών με μέγεθος από 1000 μm έως και 0,1 μm. Τα απόβλητα ρέουν μέσα από διηθητικό μέσο και γίνεται η συγκράτησή τους.

Συνοπτικά στην πρωτοβάθμια επεξεργασία το κύριο μειονέκτημα είναι η ανάγκη χρήσης χημικών που θα συνοδεύουν τις φυσικές ή μηχανικές διαδικασίες. Η αδυναμία αντιμετώπισης ορισμένων ουσιών και η δυσκολία διαχείρισης του pH των υγρών αποβλήτων. Τα

πλεονεκτήματα τους είναι η απλή διαδικασία, οικονομικά προσιτά και η μεγάλη απόδοση σε αφαίρεση αιωρούμενων στερεών.

2.2.3 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία αποσκοπεί στην εξάλειψη των οργανικών ουσιών, αιρουμένων σωματιδίων που απομένουν από την πρώτη επεξεργασία και μείωση του οργανικού φορτιού των λυμάτων με χρήση βιολογικών και χημικών τεχνικών. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι πλέον το ελάχιστο επίπεδο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που περιέχεται σε μια μονάδα, λόγω των αυξανόμενων κριτηρίων για παραγωγή ανακτώμενου νερού. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία επιτυγχάνει μείωση 80-90% του οργανικού φορτιού. Οι διεργασίες που εκτελούνται στη δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι κυρίως βιολογικές και σπανίως χημικές. Εδώ λαμβάνουν χώρο διεργασίες όπως ο αερισμός, καθίζηση, νιτροποίηση – απονιτροποίηση. Οι βιολογικές διεργασίες χρησιμοποιούν μικροοργανισμούς ή βιομάζα για την επεξεργασία των λυμάτων και αποσκοπούν στην αποδόμηση των οργανικών και θρεπτικών ουσιών και την απομάκρυνση τους από τα λύματα. Οι διεργασίες αυτές εκτελούνται μέσα σε βιοαντιδραστήρες δηλαδή κατάλληλα κατασκευασμένους θαλάμους ή δεξαμενές οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν ένα ενεργό βιολογικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Τα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας κατηγοριοποιούνται σε συστήματα αιωρούμενης βιομάζας και συστήματα προσκολλημένης βιομάζας. Ο τύποι των βιολογικών επεξεργασιών είναι αερόβιες και αναερόβιες διεργασίες, ανάλογα της ύπαρξης οξυγόνου. Στα **συστήματα αιωρούμενης βιομάζας** οι μικροοργανισμοί βρίσκονται ελεύθεροι μέσα στη δεξαμενή υγρών αποβλήτων δημιουργώντας κροκίδες με τις οργανικές ουσίες. Εδώ ανήκουν τα συστήματα ενεργοποιημένης ιλύος (αερόβια επεξεργασία), απομάκρυνσης ανόργανων, αναερόβιας χώνευσης και λίμνες αερισμού. Στα **συστήματα προσκολλημένης βιομάζας** οι μικροοργανισμοί δημιουργούν ένα βιόστρωμα πάνω σε φίλτρα στα οποία αναπτύσσονται και εμποδίζουν τις οργανικές ουσίες να το διαπεράσουν. Οι οργανικές ουσίες συγκρατούνται στο βιόστρωμα επιτρέποντας μόνο το νερό να διέλθει χωρίζοντας αποτελεσματικά τα υγρά

απόβλητα σε δευτεροβάθμια λύματα που θα συνεχίσουν την επεξεργασία τους και σε ενεργής ιλύς. Εδώ ανήκουν τα χαλικοδιυλιστήρια (trickling filters), περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (rotating biological contactors) και συστήματα σταθερής ή κινητής κλίνης βιοστρωμάτων (moving bed biofilm reactors (MBBR)). Τα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας μπορούν να ανταπεξέλθουν καλύτερα στις δραματικές αλλαγές στην ποσότητα του οργανικού φορτίου στα υγρά απόβλητα. Οι περισσότερες βιολογικές μονάδες επεξεργασίας χρησιμοποιούν αερόβια αποικοδόμηση. Αυτό επιτυγχάνεται με την συνεχή τροφοδότηση οξυγόνου στους μικροοργανισμούς είτε φυσικά μέσω της ατμοσφαιρας είτε τεχνικά. Οι μικροοργανισμοί με την σειρά τους διασπάνε τις οργανικές ουσίες που περιέχονται στα λύματα και απομακρύνονται από τα υγρά.

Το **σύστημα ενεργοποιημένης ιλύος** (λάσπης) είναι διεργασία ανάπτυξης μικροοργανισμών μέσα σε μια δεξαμενή αερισμού (αερόβια επεξεργασία) υπό ελεγχόμενες συνθήκες με σκοπό την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών. Η διαδικασία ξεκινάει όταν τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα εισέρχονται σε μια δεξαμενή αερισμού στην οποία προμηθεύεται μεγάλη συγκέντρωση μικροοργανισμών. Στην συνέχεια μέσω παροχής οξυγόνου και συστήματος ανάδευσης επιτυγχάνεται η συνεχής αιώρηση του μείγματος. Με τη σειρά τους οι μικροοργανισμοί αποικοδομούν τις οργανικές ουσίες σχηματίζοντας κροκίδες δηλαδή συσσωμάτωση σωματιδίων. Στην συνέχεια περνάνε σε δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, με την βοήθεια βαρύτητας διαχωρίζεται το μείγμα σε δευτεροβάθμια λύματα και ενεργής ιλύς που κατακάθεται στο πυθμένα. Ποσότητα ενεργής ιλύς μπορεί να ανατροφοδοτηθεί στη δεξαμενή αερισμού για επανάληψη της διαδικασίας. Η υπόλοιπη ποσότητα αφαιρείται για περεταίρω επεξεργασία μέσω ξήρανσης και αφυδάτωσης και τελικά καύσης ή πυρόλυσης παράγοντας ενέργεια για την μονάδα ή μετατροπή του σε λίπασμα για αγροτική χρήση. Αποτελεί την πιο συνηθισμένη και ευρύτερα χρησιμοποιημένη μέθοδο στην δευτεροβάθμια επεξεργασία λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι, το χαμηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, τα λύματα που παράγει είναι καλής ποιότητας και η παραγωγή οσμών είναι σχεδόν μηδενική.

Αποτελεί αξιόπιστη και αποτελεσματική διαδικασία με ελάχιστες απώλειες. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι αποτελεί μη ελαστική μέθοδος με την έννοια ότι αν οι προδιάγραφες των υγρών αποβλήτων αλλάξουν, για παράδειγμα αν αυξηθεί η ποσότητα ή αλλάξει η ποιότητα των αποβλήτων τότε θα υπάρξουν σοβαρά προβλήματα στην επεξεργασία με αποτέλεσμα την παραγωγή κακής ποιότητας λυμάτων. Συνεχίζοντας έχει υψηλό λειτουργικό κόστος έναντι του αρχικού, λόγω της ανάγκης συνεχής ενέργειας στα συστήματα αερισμού και της επεξεργασίας της ιλύς. Η ιλύς που ανατροφοδοτείται κάθε φορά συσσωρεύεται και πρέπει να αφαιρεθεί ανά τακτικά χρονικά διαστήματα και υπάρχει η πιθανότητα της υποβάθμισης της αν δεν υπάρχει τακτικός έλεγχος και συντήρηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού για την λειτουργία και συντήρηση του συστήματος.

Τα **χαλικοδυλιστήρια** (trickling filters) είναι αερόβια διεργασία και αξιοποιεί μικροοργανισμούς συνδεδεμένους σε ένα μέσο για την αφαίρεση οργανικής ύλης. Η διεργασία αυτή εκτελείται σε κυκλικές συνήθως δεξαμενές οι οποίες αποτελούνται από "φίλτρα". Τα φίλτρα αυτά είναι υλικά με μεγάλη ειδική επιφάνεια όπως κομμάτια PVC ή ειδικά σχεδιασμένα πλαστικά φίλτρα στα οποία μπορούν να ευδοκιμήσουν οι μικροοργανισμοί και να δημιουργηθούν βιοστρώματα. Οι οργανισμοί που αναπτύσσονται στο βιοστρώματα αυτό οξειδώνουν με την σειρά τους τα λύματα που ψεκάζονται από πάνω τους με αποτέλεσμα την συγκράτηση των οργανικών ρύπων στα φίλτρα αυτά. Τα λύματα που διέρχονται από τα φίλτρα στην συνέχεια διοχετεύονται σε δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου γίνεται ο διαχωρισμός των λυμάτων και ενεργής ιλύς. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι, η ικανότητα αφαίρεσης μεγάλης ποσότητας BOD, η απόδοση της στην επεξεργασία μεγάλης ποσότητας οργανικής ύλης, η δυνατότητα αφαίρεσης αμμωνίας, η δημιουργία ελάχιστης ιλύς (λάσπης) και τέλος, η μη απαίτηση της σε εξειδικευμένο προσωπικό για την λειτουργία της. Μειονεκτήματα είναι το υψηλό αρχικό κόστος, η παραγωγή έντονων οσμών.

Οι **περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (RBC)** αποτελούνται από έναν οριζόντιο άξονα πάνω στον οποίο τοποθετούνται περιστρεφόμενοι δίσκοι, ειδικά φτιαγμένοι για την επικόλληση και ανάπτυξη μικροοργανισμών πάνω τους. Οι δίσκοι βυθίζονται μερικώς στη δεξαμενή με τα υγρά απόβλητα και καθώς περιστρέφονται δημιουργείται πάνω τους ένα βιόστρωμα. Οι

μικροοργανισμοί πάνω στο βιόστρωμα αναπτύσσονται μέσω απορρόφησης οξυγόνου από τον αέρα και όταν βυθίζονται το βιοστρώματα φυλακίζει τους οργανικούς ρύπους και τις θρεπτικές ουσίες. Τα πλεονεκτήματα της είναι ότι αερίζεται μέσω της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια δεν έχει ανάγκη χρήσης ενέργειας. Το κόστος λειτουργείας είναι προσιτό και παράγει λίγη ποσότητα ιλύς. Τα μειονεκτήματα της είναι η απαίτηση μεγάλης έκτασης για την τοποθέτηση του συστήματος και η αδυναμία της σε κρύα κλίματα.

Ο **Αντιδραστήρας αναερόβιας κλίνης ανοδικής ροής (UASB)** (Upflow anaerobic sludge blanket) αποτελεί αναερόβια επεξεργασία και σύστημα προσκολλημένης βιομάζας. Τα υγρά απολυτά εισέρχονται στον βιοαντιδραστήρα από τον πάτο και κινούνται προς τα πάνω παίρνοντας μέσα από ένα στρώμα αναερόβιας βιομάζας (λάσπης), στην οποία γίνεται η αποδόμηση του οργανικού φορτίου. Παρουσιάζει έως και 85% αφαίρεση COD. Τα προτερήματα της είναι η χαμηλή ανάγκη σε ενέργεια και έκταση που την κάνουν αρκετά οικονομική. Η μικρή παραγωγή ιλύς και μεγάλη απόδοση της στην αφαίρεση οργανικής ιλύς και BOD. Τα παραγόμενα λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γεωργία. Τα μειονεκτήματα είναι ο μεγάλος χρόνος αναμονής των λυμάτων στον αντιδραστήρα και η ανάγκη για μεγάλη ποσότητα ιλύς για την δημιουργία βιοστρώματος.

Οι **βίο αντιδραστήρες Μεμβράνης (MBR)** αποτελούν τεχνολογία που αποσκοπεί στην αντικατάσταση των παραδοσιακών τροπών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας όπως τα συστήματα ενεργοποιημένης ιλύος. Συγκεκριμένα τα MBR χρησιμοποιούν φίλτρα μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης σε συνδυασμό με σύστημα αιωρούμενης βιομάζας. Τα φίλτρα μεμβράνης σε αυτή την περίπτωση αντικαθιστούν την αναγκαιότητα της δευτεροβάθμιας καθίζησης. Οι μεμβράνες έχουν μεγαλύτερη απόδοση στην αφαίρεση αζώτου, φωσφόρου, βακτηριδίων και οργανικών ουσιών. Τα λύματα που παράγει είναι υψηλότερης ποιότητας από αυτά των παραδοσιακών διεργασιών και χρειάζεται ελάχιστη απολύμανση. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει εύκολα την απόρριψη των επεξεργασμένων λυμάτων στα υδατικά σώματα ή την τροφοδότηση τους στη διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού. Το σύστημα MBR βρίσκεται στο επίκεντρο ερευνών λόγω της προσδοκίας για την εφαρμογή της ως προ επεξεργασία για τις διεργασίες της

νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης ή σαν τελική επεξεργασία για νερό που θα χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η μικρότερη ανάγκη για χώρο, υψηλότερη υδραυλική απόδοση και η ικανότητα του συστήματος να είναι αυτόματο χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης (*era.gov*).

Οι **Λίμνες αερισμού** αποτελούνται από τεχνητή ή φυσική λίμνη με χρήση τεχνητού αερισμού που αποσκοπεί στην οξείδωση των υγρών αποβλήτων. Η μεταφορά και διάλυση του οξυγόνου στο νερό γίνεται μέσω αεριστήρων που επιπλέουν στο νερό. Καταφέρνουν να αφαιρέσουν σε μέσο όρο το 80-90% BOD των υγρών αποβλήτων σε διάστημα έως και 10 ημέρων. Ανάλογα το κλίμα στο οποίο τοποθετούνται η αφαίρεση COD BOD μπορεί να ξεκινάει από το 60%. Αποτυχία τήρησης των προτύπων υπάρχει μόνο σε περιπτώσεις μη ευνοϊκού κλίματος. Συνήθως η βιολογική οξείδωση γίνεται μεταξύ 0-40°C. Αν και πρόκειται για παραδοσιακή και παλαιά τεχνολογία υπάρχουν περιπτώσεις που η χρήση της προτιμάτε σε σχέση με το σύστημα ενεργής ιλύς. Πλεονέκτημα της διεργασίας αυτής είναι το χαμηλό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος καθώς και της μη συνεχόμενης ανάγκης ανθρώπινης επέμβασης.

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Το σύστημα MBBR βασίζεται στην αρχή ανάπτυξης βιοστρωμάτων και αποτελεί σύστημα προσκολλημένης βιομάζας καθώς και αερόβια επεξεργασία. Συγκεκριμένα στην δεξαμενή αερισμού γίνεται χρήση χιλιάδων μέσων ή φίλτρων που είναι σχεδιασμένα σε μορφή πλαστικής μπάλας. Τα ειδικά σχεδιασμένα μέσα υποστηρίζουν και προστατεύουν τους μικροοργανισμούς προσφέροντας τους μεγάλες επιφάνειες για την ανάπτυξη τους. Οι μικροοργανισμοί με τη σειρά τους αναπτύσσουν ένα είδος βιοστρώματος το οποίο αποικοδομεί τις οργανικές και θρεπτικές ουσίες. Τα λύματα που έχουν διαπεράσει το βιόστρωμα κατευθύνονται σε δεξαμενή καθίζησης και γίνεται περεταίρω διαχωρισμός. Το επεξεργασμένο λύμα στην συνέχεια υπόκειται σε απολύμανση και έπειτα μπορεί να γίνει η διάθεση του στα υδατικά σώματα. Το σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί εύκολα για κάθε μέγεθος εγκατάστασης λόγω της μικρής κλίμακας του. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η μειωμένη παραγωγή ενεργής ιλύς, περιέχει ενσωματωμένες διεργασίες αφαίρεσης αζώτου και φωσφόρου (*Ayushi Mandloi et al. 2018*).

Συνοπτικά η βιολογική επεξεργασία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Αρχικά στα πλεονεκτήματα, η χρήση μικροοργανισμών για την αφαίρεση των ρύπων μπορεί να χαρακτηριστεί ως απλή, οικονομική και κοινωνικά αποδεκτή. Παρουσιάζουν ποικίλους μικροοργανισμούς με υψηλή αποδημητική ικανότητα, και υψηλή αφαίρεση οργανικού φορτιού, BOD και αιωρούμενων στερεών. Τα μειονεκτήματα είναι η ανάγκη μεγάλης έκτασης για τις εγκαταστάσεις, πρόκειται για αργή διαδικασία, πολλές φορές χρειάζονται και μέρες για ένα κύκλο επεξεργασίας. Η συσσώρευση ιλύς αποτελεί πρόβλημα και πρέπει να παρακολουθείται και να διαχειρίζεται τακτικά. Η ανάγκη των εργαζομένων να κατέχουν την γνώση για μικροβιολογικές διαδικασίες για την σωστή επιλογή μικροοργανισμών ανάλογα την σύσταση των υγρών αποβλήτων και την λειτουργία της διαδικασίας. Τέλος υπάρχουν περιπτώσεις κακού αποχρωματισμού των λυμάτων πριν την διάθεση τους.

Στο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκτελείται και η αφαίρεση αζώτου και φωσφόρου, παρόλο που χαρακτηρίζονται ως τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα πιο σύγχρονα συστήματα συμπεριλαμβάνουν ενσωματωμένες διεργασίες για την απομάκρυνση τους, ενώ υπάρχοντα παραδοσιακά συστήματα σαν της ενεργής ύλης απαιτούν πρόσθετα συστήματα. Για αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται και ως τριτοβάθμια επεξεργασία.

2.2.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Η τριτοβάθμια επεξεργασία ή προχωρημένη επεξεργασία είναι το τελικό στάδιο καθαρισμού των υγρών αποβλήτων και αποσκοπεί στην βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου νερού. Η τριτοβάθμια επεξεργασία έχει ως κύριο στόχο την εξάλειψη απομένοντος οργανικού, ανόργανου φορτιού και άλλων ρυπαντικών ουσιών που δεν κατάφεραν να αφαιρεθούν από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Έμφαση δίνεται στην απομάκρυνση του φωσφόρου, αζώτου, στα βαρέα μέταλλα, παθογόνους μικροοργανισμούς αλλά και στην αύξησή της ποιότητας του όπως στην καθαρότητα του νερού, της οσμής, κτλ. Η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι αναγκαία σε περιπτώσεις που τα δευτεροβάθμια λύματα δεν πληρούν τα κριτήρια για την διάθεση τους στο περιβάλλον ή την επαναχρησιμοποίηση τους. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εξαρτάται κυρίως από την χρήση που προορίζεται το ανακτώμενο νερό και τα πρότυπα που

πρέπει να υπακούσει για την διάθεση του καθώς και από την σύσταση των δευτεροβάθμιων λυμάτων. Οι κυρίες διεργασίες στο στάδιο της προχωρημένης επεξεργασίας είναι οι εξής:

- Αφαίρεση θρεπτικών συστατικών
- Απολύμανση
- Προηγμένες διεργασίες οξείδωσης
- νιτροποίηση απονιτροποίηση
- Ιοντική ανταλλαγή
- Διεργασίες Μεμβρανών
- Προσρόφηση

Η **αφαίρεση θρεπτικών συστατικών** είναι μια πολύ σημαντική διεργασία κατά την οποία γίνεται μείωση των συγκεντρώσεων φωσφόρου, αζώτου, άνθρακα και θείου στα υγρά απόβλητα. Η διεργασία αυτή γίνεται συνήθως με δυο τρόπους. Αρχικά υπάρχει ο παραδοσιακός τρόπος της χημικής κατακρήμνισης δηλαδή προσθήκη χημικών και δεύτερον είναι μέσω της βιολογικής επεξεργασίας, δηλαδή με την βοήθεια των μικροοργανισμών. Ο άνθρακας και το θείο συνήθως αντιμετωπίζονται κατά την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επίπεδα με προσθήκη οξυγόνου και χημική κατακρήμνιση. Αυτό μας αφήνει με το φωσφόρο και άζωτο. Τα δυο αυτά στοιχεία είναι σημαντικά στην ζωή και στην ανάπτυξη του περιβάλλοντος, αλλά υπερβολικές συγκεντρώσεις των δυο αυτών στοιχείων έχουν ως αποτέλεσμα την παρουσίαση ευτροφισμού στα υδάτινα σώματα. Ευτροφισμός είναι φαινόμενο που εμφανίζεται σε υδάτινα σώματα, κατά το οποίο υπερβολικές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών συσσωρεύονται στα σώματα αυτά με αποτέλεσμα την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Αυτό επιφέρει σημαντικούς κινδύνους για την χλωρίδα και πανίδα των υδροβιοτόπων. Η αφαίρεση του **αζώτου** επιτυγχάνεται με την διεργασία της νιτροποίησης και απονιτροποίησης και εκτελείται μέσω αερόβιας (νιτροποίηση) και ανοξικής (απονιτροποίηση) διαδικασίας. Στην νιτροποίηση οι οργανικές ενώσεις αζώτου (N) μετατρέπονται σε αμμωνιακό άζωτο (NH_4), στην συνέχεια σε νιτρώδες άζωτο (NO_2) και τελικά σε νιτρικό άζωτο (NO_3). Κατά ακολουθία εισέρχεται η διεργασία της απονιτροποίησης που

μετατρέπει το νιτρικό άζωτο σε νιτρώδες άζωτο και τέλος σε στοιχειακό άζωτο (N₂) που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η αφαίρεση **φωσφόρου** επιτυγχάνεται παραδοσιακά μέσω χημικών όπως το θειικό αργίλιο ή άλατα σιδηρού. Ένας καινούργιος τρόπος αφαίρεσης φωσφόρου είναι με τη βοήθεια της βιολογικής επεξεργασίας, συγκεκριμένα με οργανισμούς που συσσωρεύουν φώσφορο (Phosphorus Accumulating Organisms, PAO). Τα πλεονεκτήματα της είναι η μείωση δαπανών για χημικά και μικρότερη παραγωγή λάσπης. Επιτυγχάνεται με αερόβια και αναερόβια επεξεργασία. Η διεργασία αφαίρεσης θρεπτικών συστατικών μπορεί να γίνει ως κομμάτι της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ή ως επιπρόσθετο σύστημα μετά την δευτεροβάθμια που κατατάσσεται στην τριτοβάθμια επεξεργασία. Οι σύγχρονες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαρτίζονται από δευτεροβάθμια συστήματα που συγχρόνως αφαιρούν τις θρεπτικά συστατικά και αποτελούνται από διαδοχικές δεξαμενές αερόβιας, αναερόβιας και ανοξικής επεξεργασίας.

Η μέθοδος της **ανταλλαγής ιόντων** είναι διεργασία χημικής φύσεως, κατά την οποία γίνεται αντικατάσταση των βλαβερών ιόντων με ιόντα λιγότερο βλαβερά ή επιθυμητά. Γίνεται χρήση εναλλαχτεί ιόντων, συνήθως είναι ζεόλιθοι ή συνθετικές ρητίνες. Μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μια αντίστροφη χημική αντίδραση. Η μέθοδος αυτή χρησιμεύει κυρίως για την αποσκλήρυνση του νερού, την αφαίρεση νιτρικού αζώτου και βαρέων μετάλλων. Τα πλεονεκτήματα της είναι το χαμηλό κόστος, εύκολη χρήση και απλός εξοπλισμός καθώς και ελάχιστη χρήση οργανικών ουσιών. Τα μειονεκτήματα της είναι ο μεγάλος χρόνος αναμονής για την ολοκλήρωση της διαδικασίας, η πιθανότητα παραγωγής κακής ποιότητας λύματος και η αδυναμία να βρεθεί ιδανική ρητίνη για εναλλαγή για κάθε περίπτωση (Chen, Hongzhang et al. 2017).

Διεργασίες Μεμβρανών: Η μέθοδος μεμβρανών είναι παρόμοια με τη διεργασία της διήθησης. Μια μεμβράνη διαχωρίζει δυο φάσεις υγρών. Από την μια πλευρά είναι τα υγρά δευτεροβάθμια επεξεργασμένα απόβλητα και από την αντίθετη μεριά καθαρό νερό. Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων πιο διαδεδομένες είναι οι διεργασίες μεμβρανών στις οποίες ασκείται πίεση. Το υδατικό διάλυμα εξαναγκάζεται να περάσει μέσα από ημιπερατές

μεμβράνες με πόρους διάφορων μεγεθών με στόχο την διαχώριση του νερού από τις ουσίες που περιέχει. Οι διεργασίες μεμβρανών πίεσης που χρησιμοποιούνται ενεργά είναι η Μικροδιήθηση, Υπερδιήθηση, Νανοδιήθηση, Αντίστροφη όσμωση, Διάλυση και Ηλεκτροδιάλυση. Κάθε διεργασία διαφέρει ως προς το μέγεθος ουσιών που μπορούν να αντιμετωπίσουν. Η **Μικροδιήθηση** έχει πόρους (10 μ m-0,1 μ m) εμποδίζοντας βακτήρια, κολλοειδή και οργανικές ουσίες και εφαρμόζεται συνήθως ως στάδιο προ επεξεργασίας για την προστασία των πιο λεπτών διεργασιών μεμβράνης που ακολουθούν. **Υπερδιήθηση** χρησιμοποιεί μεμβράνες με μικρότερες πόρους (0,1-0,001 μ m), αφαιρώντας αποτελεσματικά ακόμα και μικρότερα σωματίδια όπως μακρομόρια (πρωτεΐνες), χρωστικά, ιούς και μικρό πλαστικά. Οι μεμβράνες **νανοδιήθησης** έχουν μικρότερους πόρους της τάξης (0,5-5nm) και είναι αποτελεσματικά στην απομάκρυνση χρωστικών, θεϊκών ενώσεων, χλωριούχο νάτριο και δισθενών ιόντων(θείο), κατιόντων (μαγνήσιο). Η **αντίστροφη όσμωση** είναι μια υψηλής απόδοσης διαδικασία μεμβράνης που χρησιμοποιεί μεμβράνες με εξαιρετικά μικρούς πόρους (< 1nm). Καταφέρει να αντιμετωπίσει όλους τους ρύπους καθώς και μονοσθενή ιόντα (όπως φθόριο, χλώριο, βρώμιο κ.α.) από τα υγρά απόβλητα. Η αντίστροφη όσμωση παράγει νερό υψηλής ποιότητας κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές, όπως εφοδιασμός με πόσιμο νερό και παροχή νερού κατάλληλο για βιομηχανικές διαδικασίες. Στην Ηλεκτροδιάλυση συνδυάζεται η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και μεμβρανών που διαπερνιούνται από ιόντα για τον διαχωρισμό των διαλυμένων ιόντων από το νερό (*Elorm Obotey Ezugbe et al. 2020*), (*Ifeanyi Michael Smarte Anekwe et al. 2022*).

Τα πλεονεκτήματα τους είναι η μεγάλη διαθεσιμότητα μεμβρανών στην αγορά, που σημαίνει μεγάλη ποικιλία μεμβρανών για διάφορες χρήσεις από πόλους κατασκευαστές. Η ανάγκη του συστήματος για χώρο είναι μικρή και η διαδικασία είναι απλή, γρήγορη και αποτελεσματική ακόμα και για λύματα υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλής ποιότητας λύματος και σε περιπτώσεις χρησιμοποίησης RO το υψηλής ποιότητας ανακτημένο νερό. Δεν απαιτείται η χρήση χημικών και ως αποτέλεσμα δεν υπάρχει κίνδυνος παρενεργειών όταν διατίθεται στη φύση. Ανάλογα την μέθοδο και την επιλογή φίλτρων μπορεί να αντιμετωπίσει ένα ευρέως φάσμα ρυπογόνων ουσιών, από

αιωρούμενα σωματίδια και μικροοργανισμούς μέχρι οργανικές και ανόργανες ουσίες και μέταλλα. Έχουν επίσης ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από φιλτράρισμα και διαχωρισμό πολυμερών (οργανικών, ανόργανων και συνθετικών) μέχρι και παραγωγή καθαρού νερού. Τα μειονεκτήματα τους ακολούθως είναι το υψηλό αρχικό και λειτουργικό κόστος με αποτέλεσμα να μην είναι προσιτές για μικρές και μεσαίες μεγέθους μονάδες. Η γρήγορη φραγή των μεμβρανών από τις ρυπογόνες ουσίες με αποτέλεσμα την συχνή αλλαγή τους και κατά συνέπεια αύξηση λειτουργικού κόστους. Η επιλογή της κατάλληλης μεμβράνης γίνεται βάση της διαδικασίας για την οποία θα χρησιμοποιηθεί και τους στόχους που θέλει να πέτυχει.

Οι **προηγμένες διεργασίες οξειδωσης (AOP)** είναι χημική μέθοδος σχεδιασμένη για την αφαίρεση οργανικών και ανόργανων ουσιών από τα υγρά απόβλητα. Τα κύρια στάδια που ακολουθεί η μέθοδος αυτή είναι ο σχηματισμός ισχυρών οξειδωτικών παραγόντων (ρίζες υδροξυλίου), η αντίδραση τους με τις οργανικές ενώσεις στα υγρά απόβλητα που τα καταστεί πιο βιοαποδομήσιμα και τέλος η αντίδραση των παραγομένων πάλι με τους οξειδωτικούς παράγοντες για την τελική παραγωγή διοξειδίου άνθρακα και ανόργανων αλάτων. Στην μέθοδο αυτή ανήκουν και οι διεργασίες που κάνουν χρήση του όζον (O_3), του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) και της υπεριώδης ακτινοβολίας (UV). Οι διεργασίες στα AOP χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, διεργασίες υπό την επήρεια ακτινοβολίας και χωρίς. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει διεργασίες όπως η φωτόλυση (UV + H_2O_2), φωτοκατάλυση (TiO_2/UV , ZnO/UV) και η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τον οζονισμό (O_3), ηλεκτρόλυση και Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) (Χρυσάφενια Κουτσού, 2022). Οι AOP κάνουν ταυτόχρονη χρήση δυο ή περισσότερων διεργασιών κάθε φορά. Αυτό γίνεται λόγω του μεγάλου κόστους που έχει η κάθε μια και δεύτερον, η συνδυασμένη χρήση επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την μεμονωμένη χρήση. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Μπορεί να επεξεργαστεί σχεδόν όλα τα οργανικά υλικά και μπορεί να αφαιρέσει ορισμένα βαρέα μέταλλα
- Λειτουργεί και για απολύμανση νερού
- Παραγωγή ελάχιστων ή μηδενικών παραπροϊόντων

- Λειτουργεί σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- Γρήγοροι χρόνοι απόκρισης που σημαίνει λιγότερος χρόνος παραμονής των λυμάτων στην επεξεργασία.
- Μεταλλοποίηση οργανικών ενώσεων (μετατροπή σε σταθερές ανόργανες ενώσεις όπως νερό, CO₂)
- Κατάλληλη για λύματα αρκετά τοξικά για βιολογικό καθαρισμό.
- Αφαίρεση οσμών και χρώματος λύματος

Τα μειονεκτήματα της είναι:

- Αρχικά από την ονομασία, η χρήση χημικών ουσιών.
- Η απόδοση επηρεάζεται από τι τύπο οξειδωτικού θα χρησιμοποιηθεί
- Υπάρχει η ανάγκη προ επεξεργασίας
- Υψηλό κόστος λειτουργίας που την κάνουν μη προσιτή για μικρές και μεσαίες μεγέθους μονάδες
- Πολύπλοκη λειτουργία, απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την σωστή και ασφαλή λειτουργία.

Βάση την ερευνά της (Χρυσάφενια Κουτσού, 2022) έχουν γίνει προσπάθειες για αντικατάσταση καταλυτών που ενεργοποιούνται με την ακτινοβολία ηλίου με σκοπό την μείωση του υψηλού κόστους.

2.2.5 Απολύμανση

Η διαδικασία της απολύμανσης είναι ύψιστης σημασίας και απαραίτητη σε κάθε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Ο σκοπός της διαδικασίας είναι να εξαλείψει όλους τους παθογόνους μικροοργανισμούς από τα απόβλητα, με στόχο την πρόληψη της εξάπλωσης ασθενειών. Ανάλογα την προέλευση των υγρών αποβλήτων οι παθογόνοι μικροοργανισμοί ποικίλλουν. Είναι ύψιστης σημασίας λοιπόν η εύρεση μεθόδων απολύμανσης που θα αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τέτοιες καταστάσεις ανάλογα τις ανάγκες. Οι

μικροοργανισμοί από την στιγμή που εισήλθαν στην μονάδα δέχονται επεξεργασίες κατά τις οποίες απομακρύνονται, εξουδετερώνονται ή καταστρέφονται για την δημιουργία ενός καθαρότερου λύματος. Πάρα όλη αυτή την επεξεργασία μερικοί οργανισμοί παραμένουν στα λύματα, εδώ λοιπόν χρησιμεύει η διεργασία της απολύμανσης. Έχει καταγραφεί ότι η απολύμανση αντιμετωπίζει σχεδόν 99,9% των παθογόνων μικροοργανισμών (*Chen, Hongzhang et al. 2017*). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απολύμανσης εξαρτάται από το πόσο ποιοτικό είναι το απόβλητο όταν εισέρχεται στην απολύμανση, την ποιότητα του νερού που προέρχεται από την απολύμανση και από το ποσοστό του κόστους για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Ενδεχομένως, για να μπορέσει να επιτευχθεί μια βέλτιστη διεργασία απολύμανσης μπορεί να περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες μεθόδους.

Υπάρχουν τρεις ευρέως εφαρμοζόμενες μέθοδοι απολύμανσης:

- Η **χλωρίωση**: κατατάσσεται ως η πιο γνωστή μέθοδος απολύμανσης καθώς πραγματοποιείται με προσθήκη χλωρίου ή υποχλωριωδούς νατρίου. Παρά τα πλεονεκτήματά της, υπάρχουν μειονεκτήματα, όπως σε σχέση με άλλες τεχνολογίες είναι η παραγωγή χλωρό-τοξικών ενώσεων και οι υψηλότεροι χρόνοι.
- Ο **οζονισμός**: η παραγωγή του όζον πραγματοποιείται από τα μόρια οξυγόνου μέσω της προσθήκης ενέργειας και χρησιμοποιείται για την οξείδωση και καταστροφή των μικροοργανισμών. Δεν επηρεάζεται γενικά από την παρουσία αμμωνίας ή το pH του αποβλήτου, αλλά μπορεί να καταναλώσει ποσότητα οξυγόνου εάν υπάρχει οργανικό φορτίο.
- Η **υπεριώδης ακτινοβολία (UV)**: Η ακτινοβολία UV χρησιμοποιείται για την καταστροφή του γενετικού υλικού των μικροοργανισμών, μειώνοντας έτσι την ικανότητά τους να αναπαράγονται. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική και δεν απαιτεί προσθήκη χημικών, αλλά δύναται να γίνει χρήση της σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους απολύμανσης.

Η απολύμανση με χλώριο διαφέρει σημαντικά από τον οζονισμό, καθώς ο τελευταίος δεν παράγει χλωριωμένα παραπροϊόντα, αλλά δημιουργεί διάφορα άλλα προϊόντα σε μεγάλες ποσότητες, τα οποία επεξεργάζονται προσεκτικά ώστε να μην αποτελέσουν κάποιο πρόβλημα στη δημόσια υγεία. Παρόλο που ο οζονισμός αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο απολύμανσης, δεν έχει ευρεία διάδοση λόγω του υψηλού κόστους αλλά και της μεγάλης πολυπλοκότητας της διεργασίας, σε σύγκριση με την χλωρίωση και την ακτινοβολία με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Επιπλέον, η έλλειψη υπολειμματικής δράσης αποτελεί μειονέκτημα του οζονισμού.

Στην Ελλάδα, ο οζονισμός ως μια εναλλακτική μέθοδος απολύμανσης είναι ακόμη σε πρωταρχικά στάδια, καθώς απαιτείται μια ειδική άδεια από τις υγειονομικές αρχές της χώρας. Ωστόσο, ο οζονισμός έχει τα πλεονεκτήματά του, όπως την απουσία τοξικών παραπροϊόντων και την απλότητα και ασφάλεια στην εφαρμογή του.

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) είναι μια αποτελεσματική μέθοδος απολύμανσης που απενεργοποιεί της δράση σχεδόν όλων των μικροοργανισμών, όπως είναι τα βακτηρίδια, οι ιοί και τα πρωτόζωα. Ειδικά η αποτελεσματικότητά της μεθόδου στα υγρά απόβλητα που έχουν μειωμένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων είναι υψηλή. Ωστόσο, η UV ακτινοβολία δεν έχει υπολειμματική δράση, και η παρουσία των COD ή των BOD δεν έχει επιπτώσεις στην απολυμαντική ικανότητα της μεθόδου.

Οι διατάξεις απολύμανσης με UV κυμαίνονται συνήθως ανάμεσα σε «χαμηλής πίεσης/χαμηλής έντασης, χαμηλής πίεσης/υψηλής έντασης και μέσης πίεσης/υψηλής έντασης λυχνίες», ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης και τις απαιτήσεις του νερού. Οι λυχνίες υψηλής πίεσης είναι προτιμητέες γιατί διατηρούνται πιο καθαρές και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Παρόλο που η απολύμανση με UV έχει πλεονεκτήματα, όπως την απουσία υπολειμματικής δράσης και τη μικρότερη απαίτηση επαφής, έχει επίσης μειονεκτήματα, όπως τις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις και το υψηλό κόστος. Επιπλέον, η ακτινοβολία UV απαιτεί προσεκτική διαχείριση της διαπερατότητας του αποβλήτου στην ακτινοβολία, καθώς αυτό επηρεάζει την

αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Ωστόσο, παραμένει μια αποτελεσματική λύση για την απολύμανση των υδάτινων αποβλήτων.

2.3 Τύποι Υγρών αποβλήτων και πηγες λυμάτων

Τα υγρά απόβλητα είναι βασικά παραπροϊόν του νερού που έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές τις καθημερινότητας μας, είτε είναι στο σπίτι, την βιομηχανία. Η σύσταση τους διαφέρει από το καθαρό νερό και πρέπει να επεξεργαστεί για να διατεθεί πάλι στο περιβάλλον. Η επεξεργασία τους είναι υποχρεωτική για την ασφάλεια του περιβάλλοντος και των ανθρώπων.

Τα υγρά απόβλητα χωρίζονται αρχικά σε τρεις κατηγορίες, τα οικιακά υγρά απόβλητα, τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα και τα υγρά απόβλητα όμβριων (storm sewage) . Τα οικιακά αναφέρονται σε απόβλητα που προέρχονται από τα σπίτια, διαμερίσματα και δημόσια κτήρια, τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα είναι χρησιμοποιημένο νερό από διάφορες διεργασίες της βιομηχανίας όπως χημικές διαδικασίες. Τέλος τα υγρά απόβλητα όμβριων αναφέρονται στα νερά των βροχών (*Edokrayi Joshua et al. 2017*). Η κάθε κατηγορία παρουσιάζει διαφορετικές συγκεντρώσεις συστατικών και ρυπογόνων ουσιών και συνεπώς χρειάζονται διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας.

Τα υγρά απόβλητα έχουν τρία κύρια χαρακτηριστικά που τα χαρακτηρίζουν. Αυτά είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, οσμή, θολότητα, θερμοκρασία και τα ολικά στερεά. Βάση των φυσικών χαρακτηριστικών τα υγρά απόβλητα έχουν υψηλότερη θερμοκρασία, έντονη οσμή και θολότητα καθώς και καφέ ή μαύρο χρώμα. Στην συνέχεια είναι τα χημικά χαρακτηριστικά όπως, το άζωτο, φωσφόρος, θειικά, χλωρίδια, βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία, η απαίτηση χημικού οξυγόνου (COD) και ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και το pH. Το (COD) αναφέρεται στην απαίτηση οξυγόνου για την χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών. Τέλος η τρίτη κατηγορία είναι τα βιολογικά χαρακτηριστικά και αποτελούνται από τη βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD), ο πληθυσμός των μικροβίων και το οξυγόνο που απαιτείται για

νιτροποίηση. Το (BOD) είναι η ποσότητα οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την αποσύνθεσης της οργανικής ύλης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συστατικά που περιέχονται στα οικιακά απόβλητα βάση της ερευνάς του (Henze and Ledín; 2001).

Συστατικό	Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος	Περιβαλλοντική επίδραση
Μικροοργανισμοί	Παθογόνα βακτήρια, ιοί	Κίνδυνος όταν κάνετε μπάνιο και τρώτε οστρακοειδή
Βιοδιασπώμενα οργανικά υλικά	Εξάντληση οξυγόνου σε ποτάμια και λίμνες	θάνατος πανίδας, μυρωδιές
Άλλα οργανικά υλικά	Απορρυπαντικά, φυτοφάρμακα, λίπη, λάδια και γράσα, χρωστικές ουσίες, διαλύτες, φαινόλες, κυάνιο	Τοξική επίδραση, αισθητικές ενοχλήσεις, βιοσυσσώρευση στην τροφική αλυσίδα
Θρεπτικές ουσίες	Άζωτο, φώσφορος, αμμώνιο	Ευτροφισμός, εξάντληση οξυγόνου, τοξική επίδραση
μέταλλα	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Τοξική επίδραση, βιοσυσσώρευση
Άλλα ανόργανα υλικά	Οξέα, για παράδειγμα υδρόθειο, βάσεις	Διάβρωση, τοξική επίδραση
Θερμικές επιδράσεις	Ζεστό νερό	Μεταβαλλόμενες συνθήκες διαβίωσης για τη χλωρίδα και την πανίδα
Οσμή	Υδρόθειο	Αισθητικές ενοχλήσεις, τοξικό αποτέλεσμα
Ραδιενέργεια		Τοξική επίδραση, συσσώρευση

Πίνακας 1: Συστατικά που υπάρχουν σε οικιακά λύματα (Henze και Ledín; 2001)

Παράμετροι ανάλυσης	Μονάδα	Συγκέντρωση
<u>5-days Biochemical Oxygen Demand (BOD5)</u>	mg O ₂ /l	350
<u>Chemical Oxygen Demand (COD)</u>	mg O ₂ /l	740
<u>Total Organic Carbon (TOC)</u>	g C/m ³	250

Suspended Solid (SS)	g SS/ m ³	450
Volatile Suspended Solid (VSS)	g VSS/ m ³	320
<u>Alkalinity</u>	eqv/ m ³ *	37
Conductivity	mS/m **	120
<u>Total Nitrogen</u>	g N/ m ³	80
Total Phosphorous	g P/ m ³	23
<u>Fats, oil and grease</u>	g/ m ³	100

Πίνακας 2: Διαφορετικές παράμετροι στα οικιακά λύματα (Henze and Ledín, 2001)

* 1 eqv/ m³ = 1 m eqv/l = 50 mg CaCO₃/l - ** mS/m = 10 μS/cm = 1 m mho/m

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συστατικά που περιέχονται στα βιομηχανικά απόβλητα βάση της ερευνάς του (Rathika Selvaraj et al; 2019).

Συστατικά	Μονάδες	Οινοπνευματοποιείο	Βιομηχανία Χαρτιού	Βυρσοδεψείο	Βιομηχανία Υφασμάτων	Απόβλητα
Ph		8.9	8.4	7.0 - 9.0	9.8-11.8	8
EC	mg/L	27.5	1.6	-	8.0-10.0	1.15
BOD	mg/L	40000	175	1000-3000	680-840	2108
COD	mg/L	102000	1439	2500-4000	1160-1790	1720
TS	mg/L	92505	1818	-	5112-7180	3900
TDS	mg/L	5975	1044	11000-16000	-	-
TSS	mg/L	86530	774	2000-4000	155-1950	-
Άζωτο	mg/L	1988	20	-	45-50	196
Φώσφορος	mg/L	428	3	-	20-25	2.24
Κάλιο	mg/L	10010	12	-	1.2	-
Χλωρίδια	mg/L	10400	776	6000-9500	300-570	860
Θειικά	mg/L	2980	384	2400-4000	660-1600	-
νάτριο	mg/L	640	575	-	78.7	-
Χρώμιο	mg/L	-	-	7.2-26.2	-	-
Λάδι και γράσο	mg/L	-	-	1.5-4.0	-	-

Πίνακας 3 : Χαρακτηριστικά διαφορετικών βιομηχανικών λυμάτων] (Rathika Selvaraj et al; 2019)

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάκτηση νερού

Η αποτελεσματικότητα και η επιτυχία της ανάκτησης νερού επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες. Αρχικά υπάρχει ο παράγοντας της ποιότητας των υγρών αποβλήτων, η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία τους, οι ενεργειακές ανάγκες, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα πρότυπα στα οποία πρέπει να υπακούει, το περιβάλλον (κλίμα) στο οποίο θα εγκατασταθεί η μονάδα, το μέγεθος της μονάδας, τα οικονομικά κόστη και τέλος ο έλεγχος σωστής λειτουργίας. Όλα τα προαναφερόμενα αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους.

Για παράδειγμα η ποιότητα των απόβλητων (περιεκτικότητα τους σε οργανικό, ανόργανο φορτίο και παθογόνες ουσίες), το κλίμα στο οποίο βρίσκονται και θα εγκατασταθεί η μονάδα καθορίζουν την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για τον σωστό καθαρισμό των υγρών απόβλητων. Ταυτόχρονα ανάλογα την χρήση που προορίζονται τα επεξεργασμένα λύματα θα πρέπει να υπακούν σε κάποιους κανονισμούς και πρότυπα για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση τους στο περιβάλλον. Επιπλέον το μέγεθος της μονάδας και την ποσότητα που προορίζεται να επεξεργαστεί επηρεάζουν την επιλογή της τεχνολογίας. Τα οικονομικά κόστη δηλαδή το επενδυτικό κεφάλαιο για την δημιουργία της μονάδας καθώς και τα λειτουργικά κόστη επηρεάζουν την επιλογή. Αν πρόκειται για μονάδα που θα εξυπηρετεί μικρούς οικισμούς θα πρέπει να επιλεγεί προσιτά οικονομικά τεχνολογία και όσο λιγότερο δαπανηρή στην λειτουργία της. Η παρουσία ή μη υπάρχουσας υποδομής όπως σύστημα συλλογής και μεταφοράς υγρών απόβλητων, ο σωστός έλεγχος για την ακέραια λειτουργία επηρεάζουν το την διαδικασία. Τέλος σημαντικό ρόλο κατέχει και η κοινωνική αποδοχή της κοινότητας για το θέμα της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων.

Συμπερασματικά η επιτυχής ανάκτηση νερού εξαρτάται από ένα συνδυασμό τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων. Η προσεχτική εξέταση των κριτηρίων αυτών είναι απαραίτητη για την επιτυχή και αποτελεσματική ανάκτηση νερού.

Κεφάλαιο 3ο: Επαναχρησιμοποίηση Νερού

Ανάκτηση ή ανακύκλωση νερού είναι η διαδικασία επεξεργασίας των λυμάτων ή αναφέρεται σε νερό που έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο από μια φορές πριν επιστρέψει στη φύση. Επαναχρησιμοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται χρήση του ανακτημένου νερού σε διάφορες εφαρμογές. Η επαναχρησιμοποίηση και ανάκτηση νερού είναι διαδικασίες που πάνε χέρι-χέρι. Η αναφορά της μια διαδικασίας είναι άμεσα συσχετισμένη με την άλλη, δεν νοείται επαναχρησιμοποίηση χωρίς ανάκτηση. Η επαναχρησιμοποίηση νερού βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της κοινωνίας και επιφέρει θετικά αποτελέσματα είτε πρόκειται για την κοινωνία ή την φύση.

Η εφαρμογή της, βάση της ερευνάς του (*A. N. Angelakis and P. Gikas, 2014*) και τα ιστορικά στοιχεία ξεκινάει πίσω στην αρχαιότητα και συγκεκριμένα στην μινωικά χρονιά. Καθ' όλη την ιστορία η εφαρμογή της εξελίχθηκε από απλά συστήματα που η μονή χρήση τους ήταν η επαναχρησιμοποίηση για γεωργία σε πιο περιπλοκά που πέρα από το βασικό στόχο της επαναχρησιμοποίησης έχουν ως σκοπό τον περιορισμό ρύπανσης και μετάδοσης ασθενειών. Η πρώτη φορά που εφαρμόστηκε σαν στρατηγική για την μείωση της επιβάρυνσης του υδροφόρου ορίζοντα, ως έλεγχος της ρύπανσης υδάτων και ανάκτησης νερού ήταν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Παραδείγματα είναι η επαναχρησιμοποίηση νερού για άρδευση στην Καλιφόρνια τη δεκαετία του 1920, τη δεκαετία του 1950 η Ιαπωνία άρχισε να επαναχρησιμοποιεί τα λύματα για βιομηχανικές εφαρμογές. Από τη δεκαετία του 1960, η άρδευση των καλλιεργειών με ανακτημένα λύματα έγινε κοινή πρακτική στο Ισραήλ και σε άλλες μεσογειακές χώρες (*water-reuse-europe.org*). Η επαναχρησιμοποίηση νερού μπορεί να χαρακτηριστεί ως προγραμματισμένη και απρογραμμάτιστη. Απρογραμμάτιστη για παράδειγμα είναι όταν ένας οικισμός τραβάει νερό από ποτάμι ή λίμνη, στα οποία έχουν διατεθεί επεξεργασμένα λύματα. Προγραμματισμένη είναι όταν υπάρχει σύστημα επαναχρησιμοποίησης νερού για ωφέλιμο σκοπό, όπως άρδευση για γεωργία (*epa.gov*).

Η ανάπτυξη της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού είναι το αποτέλεσμα της αυξημένης λειψυδρίας και της ανάγκης ελέγχου της ρύπανσης υδάτων. Η ανάγκη εξασφάλισης εναλλακτικής πηγής νερού λόγω της συνεχομένης αύξησης του πληθυσμού αποτελεί ακόμα ένας λόγος. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2050 θα υπάρχει αύξηση του πληθυσμού κατά 2 δισεκατομμύρια. Η συνεχομένη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κάθε χρόνο, η έλλειψη βροχών και χιονιού έχουν ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου της λειψυδρίας και της ξηρασίας. Αν προστεθεί η αλόγιστη χρήση νερού από τον άνθρωπο έχει ως συνέπεια την σημερινή εικόνα του πλανήτη. Λίμνες και ποταμιά έχουν αρχίσει ή έχουν ήδη στερέψει. Φράγματα αποταμίευσης νερού έχουν και αυτά αρχίσει να λιγοστεύουν. Συνεπώς υπάρχει μείωση του διαθέσιμου ποσίου νερού, μείωση της ποσότητας νερού για γεωργική χρήση, μείωση των υπογείων αποθεμάτων νερού. Η έλλειψη νερού επηρεάζει τα εδάφη, παρατηρείται μειωμένη καλλιέργεια, και μείωση βλάστησης και κατά συνέπεια ερημοποίηση. Έλλειψη νερού παρουσιάζεται και σε αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και σε μεγάλες πόλεις. Το μεγάλο κύμα αστικοποίησης έχει βάλει τις πυκνές κατοικημένες πόλεις και χώρες σε δύσκολη κατάσταση. Αν όπως αναφέρθηκε προστεθεί και το θέμα της αύξησης του πληθυσμού τότε οι πηγές ποσίου νερού στις οποίες βασίζονται αυτές οι πολιές θα στερέψουν. Οι ποσότητες των αποβλήτων και συγκεκριμένα των υγρών αποβλήτων αυξάνονται ανάλογα με την αύξηση του πληθυσμού. Είναι λοιπόν αναγκαστική η προσεκτική διαχείριση τους, από την άλλη πλευρά αυτό σημαίνει ότι με σωστή εφαρμογή της διαδικασίας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης μπορεί να υπάρξει σταθερή εναλλακτική πηγή νερού για τις ανάγκες της κοινωνίας και την φύσης



Εικόνα 11: Ποταμός Κολοράντο, Ιούλιος 2000 (Αριστερά), Ιούλιος 2022 (Δεξιά) (cnn) [17]

3.1 Εφαρμογές ανακτώμενου νερού

Οι πιο συνήθεις εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης νερού είναι:

- **Άρδευση** όπως γεωργική άρδευση, εξωραϊσμός πάρκων και δημοσίων κήπων
- **Βιομηχανική χρήση** όπως ψύξη, πλύσιμο, κατασκευή, ξέβγαλμα
- **Περιβαλλοντική Αποκατάσταση** όπως η δημιουργία υγροτόπων, αναπλήρωση υπογείων υδάτων, ενίσχυση υδάτινων πόρων και βελτίωση βιοτόπου αγρίας ζωής.
- **Ύδρευση** χωρίζεται σε άμεση και έμμεση.
- **Αστική Χρήση** όπως παροχή νερού σε δημοσιά κτήρια, καθαρισμός δρόμων και δημοσίων χώρων καθώς και τροφοδότηση σιντριβανιών και χώρων αναψυχής.

3.2 Άρδευση

Η εφαρμογή της άρδευσης βρίσκει χρήση σε πλήθος τομέων και μπορεί να χωριστεί σε γεωργική και αστική άρδευση.

Αρχικά η αστική άρδευση απευθύνεται στην χρήση του ανακτημένου νερού για το πότισμα και εξωραϊσμό των πάρκων της αστικής περιοχής, χώρων πράσινων όπως στα πεζοδρομιά που αποτελούνται από νησίδες πρασίνου, τα διαχωριστικό τμήμα των αυτοκινητοδρόμων που

συχνά αποτελούνται από δέντρα, θάμνους και χλοοτάπητα καθώς και ο διαμοιρασμός ποσότητας ανακτημένου νερού που προορίζεται για τη συγκεκριμένη χρήση για το πότισμα χλοοτάπητα και δέντρων σε κατοικίες, πολυκατοικίες και ιδιωτικά κτήρια.

Η άρδευση για γεωργία αποτελεί περίπου το 70% της συνολικής χρήσης νερού. Λόγω των περιορισμένων ποσοτήτων γλυκού νερού και της αυξημένης ζήτησης του στο τομέα της γεωργίας, ειδικά σε περιοχές με ξηρό κλίμα η χρησιμοποίηση ανακτημένου νερού πρόκειται για μια αποδοτική βάση ερευνών εναλλακτική πηγή νερού για άρδευση. Η άρδευση για γεωργία πρόκειται για μια από τις πιο σύνηθες και διαδεδομένες εφαρμογές χρησιμοποίησης ανακτώμενου νερού αποβλήτων. Ολοένα και περισσότερες χώρες εστιάζουν στη χρήση της εφαρμογής αυτής λόγω της μεγάλης αποδοτικότητας της και των μελλοντικών αποτελεσμάτων που υπόσχεται (*Manuela Helmecke et al. 2020*). Η έλλειψη νερού δημιουργεί διαφορά προβλήματα που μπορούν να επηρεάσουν την ζωή των ανθρώπων όπως η δυσκολία ασφάλισης φαγητού, η δυσκολία διαβίωσης λόγω οικονομικής δυσχέρειας που προκαλείται από την μειωμένη παραγωγή. Η αύξηση του πληθυσμού, πέρα από την επίδραση της στην αύξηση των αποβλήτων, θα δημιουργήσει και αυξημένη ζήτηση φαγητού και νερού, η οποία θα βάλει πίεση στις πηγές νερού και κατά συνέπεια την δημιουργία ελλείψεων. Με την χρήση του ανακτημένου νερού όλα τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να επιλυθούν. Είναι δυνατή η παραγωγή αυξημένης ποσότητας αγροτικών προϊόντων εξαλείφοντας την παραγωγή της έλλειψης νερού. Με αυτό τον τρόπο ασφαρίζετε μια συνεχόμενη και αποδοτική παραγωγή, και εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα των ανθρώπων και της φύσης. Η χρήση ανακτημένου νερού για την γεωργία μειώνει την ζήτηση του γλυκού νερού αφήνοντας τις πηγές που χρησιμοποιούνταν, ελεύθερες να αναπληρώσουν τα αποθέματά τους, να αναζωογονήσουν το υπέδαφος και δίνετε η ευκαιρία δημιουργίας τοπικών αποθεμάτων νερού. Η χρήση ανακτημένου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και ως εναλλακτική μορφή λίπανσης ανάλογα την επεξεργασία που έχει δεχθεί. Το ανακτημένο νερό περιέχει ποσότητες αζώτου και φωσφόρου καθώς και διάφορων άλλων συστατικών και οργανικών ουσιών που είναι ιδανικά για την γεωργία. Βάση της ερευνάς (*water.europa.eu*) έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση ανακτημένου νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση

της υγείας του εδάφους των καλλιεργειών που οφείλεται στις οργανικές ουσίες και τα συστατικά του ανακτημένου νερού. Οπότε η ποιότητα του εδάφους μπορεί να βελτιωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό από την περίπτωση που χρησιμοποιούνται αποθέματα γλυκού νερού και χρήση λιπασμάτων. Υπάρχουν διάφοροι ακόμα λόγοι που παροτρύνουν την χρήση της εφαρμογής αυτής και απαρτίζονται από οικονομικούς, περιβαλλοντικούς λόγους. Αρχικά είναι πιο οικονομική λύση, είτε αυτό αναφέρεται στην μείωση κόστους επεξεργασίας πριν την διάθεση, είτε στην μείωση κόστους άρδευσης γλυκού νερού και αγορά λιπασμάτων. Δεύτερον βοηθά στην αποφυγή του ευτροφισμού καθώς επιλέγετε η διάθεση του σε έδαφος και όχι σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη. Αποδοτική χρήση ανακτημένου νερού μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Συνήθως οι μονάδες επεξεργασίας βρίσκονται μακριά από πόλεις και είναι πιο σύνηθες οι γύρω περιοχή να είναι αγροτική. Βάση του κριτηρίου αυτού μπορεί να γίνει χρήση του ανακτημένου νερού στις γύρω αγροτικές περιοχές μειώνοντας σημαντικά το κόστος μεταφοράς και διανομής.

Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση χωρίζεται σε δυο τύπους βάση του ΦΕΚ 354/Β/2011.

- **Περιορισμένη άρδευση**, η οποία αφορά καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος, όπως καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων. Ως προς το σύστημα της άρδευσης, δεν επιτρέπεται η μέθοδος του καταιονισμού. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση δεν επιτρέπεται. Σε περίπτωση που υπάρχει προσβασιμότητα σε ανθρώπους ή ζώα, εκτός των χρηστών, πρέπει να λαμβάνονται κατά περίπτωση πρόσθετα μέτρα, όπως περίφραξη, ορισμός απαγορευτικής ζώνης για ορισμένες χρήσεις από τα όρια της αρδευόμενης έκτασης, απαγόρευση βοσκής ζώων για ορισμένο χρόνο μετά την άρδευση (ΦΕΚ 354Β_2011.).

- **Απεριόριστη άρδευση**, η οποία μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περιορισμοί στην πρόσβαση (ΦΕΚ 354B_2011).

3.2.1 Προβλήματα Άρδευσης

Τα προβλήματα που εμφανίζονται στην άρδευση με ανακτημένο νερό είναι κυρίως χημικής φύσεως. Λόγω του ότι το ανακτημένο νερό προκύπτει από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων κυρίως αστικών, παρουσιάζει μεγάλες συγκεντρώσεις σε άζωτο, φωσφόρο, άλατα, διάφορα ιχνοστοιχεία και θρεπτικά συστατικά. Τα κύρια στοιχεία και οι συνέπειες τους που πρέπει να παρακολουθούνται για να είναι μέσα στα όρια για την χρήση που τίθενται είναι τα παρακάτω. Κυρίο στοιχείο προσοχής είναι τα άλατα που συσσωρεύονται στο έδαφος, μεγάλες ποσότητες συγκεντρώσεων μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στο έδαφος και τα φυτά. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου ή χαμηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου συμβάλλουν στη δημιουργία του προβλήματος της διηθητικότητας του εδάφους μειώνοντας την ανάπτυξη των φυτών (TENTA ΙΩΑΝΝΗ, 2004). Τοξικές ουσίες που μπορούν να βλάψουν τα φυτά όπως το βόριο πρέπει να ελέγχεται συστηματικά για την αποφυγή προβλημάτων. Οι συνολικές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου καθώς και άλλων θρεπτικών στοιχείων αν και ευεργετικές προς το φυτό και έδαφος, οι μεγάλες ή ελλειπείς παρουσία τους μπορεί να προκαλέσει προβλήματα. Μεγάλη ποσότητα αζώτου μπορεί να προκαλέσει έντονη βλάστηση αλλά μείωση παραγωγής. Η τιμή pH του νερού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ (6,5-8,5). Η ποσότητα χλωρίου είναι σημαντική καθώς υπερβολική συγκέντρωση προκαλεί βλάβη στα φυτά ενώ ελλείψεις συγκέντρωση προκαλεί την εμφάνιση εμφράξεων από φύκη στα συστήματα μεταφοράς νερού. Γενικά πρέπει πριν την χρήση ανακτημένου νερού για άρδευση, να γίνεται έλεγχος της ποιότητας του, σωστή επιλογή φυτού βάση των συστατικών του νερού για την ανθεκτικότητα τους και να επιλεγθεί κατάλληλος τρόπος άρδευσης για κάθε καλλιέργεια.

3.2.2 Τεχνικές Άρδευσης

Οι τεχνικές που εφαρμόζεται στην άρδευση για γεωργία είναι οι παρακάτω.

- Επιφανειακή άρδευση ή κατάκλιση
- άρδευση με καταιονισμό
- στάγδην άρδευση
- υπόγεια άρδευση

Στο πλαίσιο της χρήσης ανακτημένου νερού οι τεχνικές φέρουν τον κίνδυνο μόλυνσής της καλλιέργειας αλλά και του ανθρώπου ανάλογα την επεξεργασία που έχει εφαρμοστεί. Στις περισσότερες περιπτώσεις το ανακτημένο νερό έχει περάσει από την δευτεροβάθμια επεξεργασία που το καθιστά κατάλληλο για διάθεση.

Επιφανειακή άρδευση ή κατάκλιση είναι η παλιότερη και πιο διαδεδομένη τεχνική άρδευσης. Το νερό εφαρμόζεται απευθείας στην επιφάνεια του εδάφους και αφήνεται να ρέει ελεύθερο. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εφαρμογής της, είτε σε μορφή ορθογώνιων λεκανών που το νερό αφήνεται να καλύψει μέχρι ένα ύψος, στην μορφή αυλακιών όπου το νερό ρέει μέσα στα αυλακιά που βρίσκονται αναμεσα στις καλλιέργειες. Η τεχνική αυτή συναντάται κυρίως σε καλλιέργειες λαχανικών ή καλλιέργειες όπου το φύλλωμα τους είναι ευαίσθητο στο νερό. Μειονέκτημα της τεχνικής είναι οι μεγάλες παροχές νερού και απώλειες καθώς και η χρήση μεγαλύτερης έκτασης σε σχέση με άλλες τεχνικές. Το πλεονέκτημα της είναι η μικρή δαπάνη εγκατάστασης. Η εφαρμογή ορθογωνίων λεκανών ή λωρίδες φέρει μεγαλύτερο κίνδυνο μόλυνσης λόγω του ότι πρέπει να καλυφθεί πλήρως η επιφάνεια, προκαλώντας πιθανή μόλυνση στα φύλλα των φυτών και των αγροτών, ενώ η εφαρμογή αυλακιών αποτελεί πιο ασφαλής λύση.

Η δεύτερη τεχνική είναι η **άρδευση με καταιονισμό** ή βροχής. Σε αυτή τη μέθοδο το νερό εφαρμόζεται σε όλη την έκταση του εδάφους με την βοήθεια κανονιού. Είναι μια τεχνική που προσπαθεί να απομιμηθεί την βροχή. Η παροχή και απόσταση στην οποία φτάνει το νερό

μπορούν να ρυθμιστούν παρέχοντας πιο αποτελεσματική άρδευση του χωραφιού. Μειονέκτημα της είναι η πιθανή απώλεια νερού λόγω αέρα ή εξάτμισης, ακριβή εγκατάσταση και μεγάλη δαπάνη λειτουργείας, αδυναμία χρήσης όταν υπάρχουν ισχυροί άνεμοι και δεν προτείνεται σε καλλιέργειες με ευαίσθητα φύλλα λόγω εμφάνισης ασθενειών. Πλεονεκτήματα της είναι, η εύκολη εφαρμογή της σε όλα τα εδάφη ανεξαρτήτως κλίσης, οικονομία νερού, αυτόματη λειτουργεία, και δεν υπάρχει απώλεια καλλιεργήσιμης γης όπως στην τεχνική της επιφανειακής άρδευσης. Στην τεχνική αυτή θα πρέπει το ανακτημένο νερό να μην περιέχει άλατα για την αποφυγή εμφράξεων του εξοπλισμού, αυτό αποφεύγεται με την προσθήκη επιπλέον φίλτρων πριν την εισαγωγή του νερού στο σύστημα.

Η τρίτη τεχνική είναι η **στάγδην άρδευση** ή άρδευση με σταγόνες. Στην τεχνική αυτή το νερό ρέει μέσα σε σωλήνες και λάστιχα και εφαρμόζεται ως σταγόνες σε κάθε φυτό ξεχωριστά. Τα λάστιχα τοποθετούνται ακριβώς διπλά στα φυτά και φέρουν σταλακτήρες από τους οποίες διαρρέει το νερό. Με αυτό τον τρόπο το κάθε φυτό εφοδιάζεται με την κατάλληλη ποσότητα νερού για τη σωστή ανάπτυξη του. Στην περίπτωση αυτή το πότισμα γίνεται συχνά. Πλεονεκτήματα της είναι η αυτόματη λειτουργεία της, η σχεδόν μηδενική απώλεια νερού και καλλιεργήσιμης έκτασης. Προσφέρει υψηλή αποδοτικότητα και εξοικονόμηση νερού. Μειονεκτήματα είναι το αυξημένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Αποτελούν ιδανική λύση άρδευσης με ανακτημένο νερό καθώς δεν εμφανίζει κανένα από τα προβλήματα των προηγούμενων μεθόδων. Πρόκειται για κλειστό κύκλωμα και συνεπώς το νερό δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο. Δεν επηρεάζει τις διπλά καλλιέργειες όπως θα γινόταν με τους άλλους μεθόδους. Όπως και στην άρδευση με καταιονισμό έτσι και εδώ πρέπει να γίνει χρήση φίλτρων και πρόσθεσης χλωρίου για την αποφυγή εμφράξευ τους λόγω του μικρού πάχους των σωλήνων.

Τελευταία τεχνική είναι η **υπόγεια στάγδην άρδευση**. Το νερό εφαρμόζεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Πρόκειται για παραλλαγή της στάγδην άρδευσης όπου οι σωλήνες και τα λάστιχα μεταφοράς νερού θάβονται στο έδαφος, συνήθως διπλά ή σε μικρή απόσταση από τις ρίζες των φυτών και αποσκοπούν στην αύξηση της απόδοσης της άρδευσης. Η τεχνική

αυτή μειώνει την ανάγκη μεγάλης ποσότητας νερού καθώς προσφέρεται ακριβώς στην ριζά του φυτού, κρατώντας το φυτό σε κατάλληλη υγρασία για την ανάπτυξη του. Η χρήση ανακτημένου νερού με μικροβιακό φορτίο γίνεται ευκολότερη και ασφαλέστερη λόγω της μη ύπαρξης άμεσης επαφής με τον άνθρωπο και το μεγαλύτερο μέρος του φυτού. Επιπλέον πλεονεκτήματα της είναι η μηδενική εξάτμιση νερού αφού παρέχεται υπογείως, η καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και λιπασμάτων που έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση έως και 50% κόστους λίπανσης. Περιορισμός εμφάνισης ζιζανίων στην επιφάνεια, καθώς είναι υπόγειο σύστημα παρέχει εύκολη μετακίνηση για εκτέλεση εργασιών στη καλλιέργεια. Μεγάλος χρόνος ζωής του συστήματος. Τα μειονεκτήματα είναι η δύσκολη επιδιόρθωση και έλεγχος του υπογείου συστήματος, καθώς για να επιτευχθεί θα χρειαστεί η εκρίζωση του από την καλλιέργεια και αυτό μπορεί να εμποδιστεί λόγω των ριζών. Τέλος αποτελεί δαπανηρή τεχνική και προτείνεται σε περιπτώσεις εντατικής καλλιέργειας.

Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί πάνω στο θέμα της άρδευσης. Μερικές από αυτές είναι οι παρακάτω. Ο (Adrià_Sunyer-Caldú et al. 2022) στο πείραμα του αρδεύει δυο διαφορετικές καλλιέργειες μαρουλιών με νερό δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Η πρώτη καλλιέργεια χρησιμοποιεί το νερό αφού περάσει πρώτα από rbMAR σύστημα και η δεύτερη καλλιέργεια χρησιμοποιεί νερό απευθείας από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Και στις δυο καλλιέργειες το χώμα είναι δυο ειδών, το μισό είναι χώμα της περιοχής και το άλλο εμπλουτισμένο με 10% άργιλο. Και οι τεχνικές άρδευσης είναι στάγδην και καταιονισμού. Τα αποτελέσματα της ερευνάς του δείχνουν ότι η ποιότητα του νερού άρδευσης καθώς και η ποιότητα του εδάφους και της τεχνικής άρδευσης παίζουν ρόλο στο βαθμό πρόσληψης παθογόνων στη καλλιέργεια. Δηλώνει ότι με βάση τα αποτελέσματα της ερευνάς του οι καλύτερες συνθήκες για την μείωση των παθογόνων είναι η χρήση της τεχνικής καταιονισμού σε έδαφος πλούσιο σε άργιλο. Δίνει έμφασή στην ύπαρξη συνεχούς ελέγχου της ποιότητας του νερού άρδευσης και παροτρύνει την διεξαγωγή ερευνών σε διαφορετικές καλλιέργειες για την πλήρη κατανόηση των λόγων που οι καλλιέργειες προσλαμβάνουν τα παθογόνα.

Η (Rita Leogrande *et al.* 2022) στην ερευνά της εξερευνάει τις επιδράσεις του ανακτημένου νερού τριτοβάθμιας επεξεργασίας στο έδαφος καλλιέργειας εσπεριδοειδών έναντι γλυκού νερού μετά τη πάροδο 10 ετών άρδευσης. Παρατήρησε ότι το έδαφος που αρδεύεται με ανακτημένο νερό θα μπορούσε να οριστεί ως αλατούχο αλλά δεν παρουσιάζει προβλήματα και μπορεί να χαρακτηριστεί ως βιώσιμη μέθοδος για εξοικονόμηση πηγών γλυκού νερού.

Οι (B.R. Hansona *et al.* 1997) σε πείραμα σύγκρισης επιφανειακής στάγδην άρδευσης, Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης και άρδευσης με αυλάκια σε καλλιέργεια μαρουλιού, συμπεράναν παρόμοια απόδοση της καλλιέργειας όσον αφορά την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση και τα αυλάκια, ενώ η επιφανειακή στάγδην άρδευση είχε μικρότερη απόδοση. Η ποσότητα του αυτού του νερού για τις μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης κυμάνθηκε από 43 % έως 74 % της ποσότητας που χορηγήθηκε με τη μέθοδο των αυλακιών.

Οι άνθρωποι σε διάφορα μέρη του κόσμου έχουν βρει τρόπους να χρησιμοποιούν επεξεργασμένα λύματα για το πότισμα των φυτών και των καλλιεργειών. Στην πόλη του Μεξικού, το 90% των λυμάτων επεξεργάζονται και χρησιμοποιούνται για να ποτιστεί μια πραγματικά μεγάλη έκταση γης. Στο Τελ Αβίβ, επεξεργάζονται πολλά λύματα και στην συνέχεια τα χρησιμοποιούν για να ποτίζουν φάρμες στην έρημο. Και στην Ουγγαρία χρησιμοποιούν εκατομμύρια κυβικά μέτρα λυμάτων κάθε χρόνο για να ποτίζουν διάφορα είδη καλλιεργειών. Στην Ελλάδα παράδειγμα γεωργικής άρδευσης είναι στη Θεσσαλονίκη όπου χρησιμοποιούν και τα λύματα για να καλλιεργήσουν καλλιέργειες όπως τα ζαχαρότευτλα, βαμβάκι, ρύζι, ντομάτες, και λουλούδια σε θερμοκήπιο. Μέχρι στιγμής αποδεικνύεται ότι λειτουργεί ορθά.

3.3 Βιομηχανική χρήση

Η χρήση του ανακτημένου νερού στον βιομηχανικό τομέα είναι άλλη μια βιώσιμη λύση για την εξοικονόμηση νερού και την προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Αντίθετα με την επαναχρησιμοποίηση του νερού στο περιβάλλον όπου τις περισσότερες φορές πρόκειται για αστικά λύματα, η επαναχρησιμοποίηση του νερού στην βιομηχανία μπορεί να προέλθει είτε από αστικά ή

βιομηχανικά λύματα ανάλογα τον τομέα της βιομηχανίας. Η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση νερού αποτελεί ένα μεγάλο τομέα στην εφαρμογή ανακτημένου νερού και στην επίτευξη του στόχου της κυκλικής οικονομίας. Η ποιότητά του ανακτημένου νερού για επαναχρησιμοποίηση στην βιομηχανία διαφέρει από την ποιότητα για τις άλλες εφαρμογές. Έμφαση πρέπει να δίνεται στην σύσταση του για την μη ύπαρξη ουσιών που μπορούν να διαβρώσουν τα μέταλλα και αλλά υλικά του συστήματος. Οι κύριες εφαρμογές στην βιομηχανία είναι:

- **Συστήματα Ψύξης:** Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για ψύξη ως ψυκτικό μέσο σε διάφορες μονάδες όπως μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Ο σκοπός του είναι η απορρόφηση θερμότητας από διαδικασίες και μηχανήματα που παράγουν μεγάλα ποσά θερμότητας και η απόρριψη τους με σκοπό την διασφάλιση της ομαλής λειτουργία τους. Τα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν πύργους ψύξης , εναλλάκτες θερμότητας και συμπυκνωτές. Οι Πύργοι ψύξης είναι τα συνηθέστερα συστήματα ψύξης που αξιοποιούν ανακτημένο νερό. Χρησιμοποιούν το ανακτημένο νερό για την απορρόφηση της θερμότητας και την απόρριψη της μέσω εξάτμισης. Κατά την λειτουργία του είναι αναγκαία η συνεχής ανατροφοδότηση νερού για την αναπλήρωση της χαμένης ποσότητας νερού από εξάτμιση. Επίσης είναι αναγκαίο η απόρριψη ποσότητας νερού ανά χρονικά διαστήματα λόγω της συγκέντρωσης στερεων ουσιών κατά την εξάτμιση για την αποφυγή προβλημάτων. Η ποιότητα του ανακτημένου νερού πρέπει να έχει περάσει την τριτοβάθμια επεξεργασία αν πρόκειται για συστήματα ψύξης επανακυκλοφορίας ενώ για συστήματα που το χρησιμοποιούν μόνο μια φορά επαρκής είναι η δευτεροβάθμια επεξεργασία με απολύμανση.
- **Λέβητες:** Λέβητες είναι συστήματα παραγωγής ατμού μέσω της πίεσης και θέρμανσης νερού. Ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται για την λειτουργία διάφορων συστημάτων όπως στρόβιλοι σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση των λεβήτων το ανακτώμενο νερό πρέπει να είναι καλύτερης ποιότητας που σημαίνει αυστηρότερη επεξεργασία. Βάση της USEPA (US Environmental Protection Agency) η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται εξαρτάται από την πίεση λειτουργίας των λεβήτων, όσο μεγαλύτερη πίεση τόσο καλύτερη ποιότητα ανακτημένου νερού χρειάζεται. Παράγοντες που πρέπει να ελέγχονται και να αφαιρούνται για την αποφυγή δημιουργίας προβλημάτων όπως το πρόβλημα της οξείδωσης είναι μεταξύ άλλων η σκληρότητα του νερού, η αλκαλικότητα και οργανικές ουσίες.

- **Νερό για κατεργασίες:** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι εφαρμογές όπως, ο καθαρισμός, το ξέπλυμα όπου είναι αναγκαία η χρήση νερού για την απομάκρυνση υπολειμμάτων, ελαίων, χημικών και άλλων ρύπων. Η αραιώση χημικών αποτελεί άλλη μια εφαρμογή χρήσης νερού για την επιτυχή δημιουργία των διαλυμάτων. Η χρήση ανακτημένου νερού επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση νερού. Νέα πρακτική αποτελεί η χρήση ανακτημένου νερού σε βιομηχανίες ηλεκτρονικών όπου είναι αναγκαία η χρήση καλής ποιότητας νερού για την αποφυγή δυσλειτουργιών. Στις βιομηχανίες μετάλλων είναι αναγκαία η χρήση νερού για την ψύξη των μηχανήματων και τη μείωση τριβής τους. Κλωστοϋφαντουργικές βιομηχανίες απαιτούν τεράστιες ποσότητες νερού για το ξέπλυμα και καθαρισμό των υλών τους. Η χαρτοποιία είναι άλλη μια βιομηχανία με υψηλά ποσοστά χρήσης νερού. Η βιομηχανία διυλιστηρίων μπορεί να εκμεταλλευτεί το ανακτημένο νερό για τις διεργασίες παραγωγής της αφού χρειάζεται 0,34-0,47 βαρέλια νερού για κάθε βαρέλι αργού πετρελαίου. Η εφαρμογή ανακτώμενου νερού στις βιομηχανίες αυτές φέρει τεράστια εξοικονόμηση αποθεμάτων γλυκού νερού.
- **Πυροπροστασία:** ανακτημένο νερό μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί για συστήματα πυροπροστασίας στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Επειδή υπάρχει η πιθανότητα άμεσης επαφής με το προσωπικό της εγκατάστασης το ανακτημένο νερό πρέπει να είναι καταλληλά επεξεργασμένο για την αποφυγή μολύνσεων.

Στην έρευνα του (*Mohammad_Badruzzaman et al, 2022*) μελετά την χρήση ανακτημένου νερού για συστήματα ψύξης και συμπεραίνει ότι πρόκειται για βιώσιμη τεχνική καθώς παρατηρείται καλύτερη συντήρηση των μηχανήματων μετρά την λειτουργία τους, η χρήση ανακτημένου νερού έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση νερού, ενέργειας και λειτουργικού κόστους. Ο κίνδυνος για τον άνθρωπο ήταν μη υπαρκτός λόγω της επεξεργασίας του ανακτημένου νερού και της απολύμανσης του.

Παράδειγμα χρησιμοποίησης ανακτημένου νερού στην βιομηχανία ηλεκτρονικών είναι η περίπτωση της INTEL, η οποία βελτίωσε την διαδικασία παραγωγής του εξαιρετικά καθαρού νερού (ultra-pure water (UPW)) που χρειάζεται για το καθαρισμό των πλακών πυριτίου κατά την κατασκευή. Μετά τον καθαρισμό τους το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω για διαφορετικούς σκοπούς. Αυτό δίνει τη δυνατότητα της συλλογής νερού από τις διεργασίες

παραγωγής και να χρησιμοποιείται στη συνέχεια σε πύργους ψύξης (*United States Environmental Protection Agency, 2012*).

Στην Ελλάδα υπάρχει ένας ειδικός χώρος που ονομάζεται Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλεια όπου καθαρίζουν χιλιάδες κυβικά μέτρα αποβλήτων καθημερινά. Το μεγαλύτερο μέρος του ανακυκλωμένου νερού χρησιμοποιείται για την ψύξη μηχανών και την κατασκευή ειδικών λύσεων. Κάποιο από αυτό χρησιμοποιείται επίσης για το πότισμα φυτών και το πλύσιμο των πραγμάτων.

3.4 Περιβαλλοντική Αποκατάσταση

Η περιβαλλοντική αποκατάσταση αποτελεί μια από τις κυρίες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού και περιλαμβάνει εφαρμογές όπως η δημιουργία ή συντήρηση υδροτόπων, η υποστήριξη ποτάμιων και λιμνών. Επίσης η επαναφόρτιση υπογείων υδάτων είναι μια συχνή χρήση ανακτημένου νερού. Οι υγρότοποι είναι βασικός τύπος οικοσυστήματος που υποστηρίζει την αγρία ζωή, την ανάπτυξη και συντήρηση του περιβάλλοντος. Η έλλειψη τέτοιων περιοχών έχει ως αποτέλεσμα την διακινδύνευση της αγρίας ζωής που υποστηρίζετε μέσω αυτών. Το ανακτημένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συντήρηση των υδροτόπων ή την δημιουργία νέων. Η επαναφόρτιση λιμνών και ποτάμιων αποσκοπεί στην αισθητική βελτίωση της περιοχής καθώς και στην ενίσχυση των υδάτινων επιφανειακών πηγών νερού. Η πρόσθεση ποσοτήτων ανακτημένου νερού σε αυτά έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της συνολικής ποιότητας του νερού, την αποφυγή στέρησης τους και την δημιουργία αποθηκών νερού με την βοήθεια κατασκευών όπως φράγματα. Η χρήση της είναι ιδιαίτερα αναγκαία σε περιπτώσεις όπου γίνεται άρδευση νερού από ποτάμια και λίμνες με αποτέλεσμα την μείωση στάθμης τους.

Όσον αναφορά τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων στην Ελλάδα επιτρέπεται στην περίπτωση που τα υπόγεια νερά δεν προορίζονται για ύδρευση. Ο στόχος της εφαρμογής αυτής είναι με την ανάμειξη των υπογείων υδάτων και του ανακτημένου νερού να δημιουργηθεί νερό με ποιότητα παρόμοια αυτής του ανακτημένου νερού άρδευσης για

γεωργία. Ο εμπλουτισμός υπογείων υδάτων μπορεί να γίνει τεχνικά ή φυσικά. Φυσικός εμπλουτισμός είναι η διάθεση του ανακτώμενου νερού επιφανειακά όπως συμβαίνει με την βροχή και το λιώσιμο του χιονιού και κινείται προς τα κάτω μέχρι να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες όπως η διηθητικότητα και ο τύπος του εδάφους, το κλίμα της περιοχής. Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι μια σκόπιμη και ελεγχόμενη διαδικασία με την οποία το ανακτώμενο νερό εισάγεται στον υδροφόρο ορίζοντα με διάφορες διαδικασίες για την αναπλήρωση των επιπέδων των υπόγειων υδάτων. Οι κύριοι λόγοι που χρησιμοποιείται αυτή η τεχνική είναι για την ενίσχυση της φυσικής αναπλήρωσης των υπογείων υδάτων, σε περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντική πτώση της στάθμης και είναι αναγκαία η συμπλήρωσή τους. Όταν μέσω ελέγχων παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Ο τεχνητός εμπλουτισμός δεν επηρεάζεται από τους παράγοντες όπως ο φυσικός εμπλουτισμός. Σε παράκτιες περιοχές βοηθά να σταματήσει το θαλασσινό νερό να εισέλθει στους υδροφόρους ορίζοντες, αυξάνει την ποσότητα του νερού σε αυτούς και επιτρέπει την αποθήκευση νερού για άρδευση ή άλλες χρήσεις.

Managed Aquifer Recharge (MAR): είναι η διαχείριση επαναφόρτισης υδροφόρων είναι όταν επανατοποθετούμε διαφορετικά είδη νερού σε ένα υπόγειο στρώμα εδάφους που ονομάζεται υδροφόρος ορίζοντας. Αυτό μας βοηθά να πάρουμε πίσω το νερό αργότερα όταν το χρειαστούμε και επίσης βοηθάει το περιβάλλον. Ένας τρόπος για να το κάνουμε αυτό είναι χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που ονομάζεται Aquifer Soil Utilization (SAT), όπου χρησιμοποιούμε ειδικές λεκάνες για να ρίξουμε λύματα στον υδροφόρο ορίζοντα. Καθώς τα λύματα περνούν μέσα από τα στρώματα του εδάφους, περνούν από διαφορετικές διεργασίες που το κάνουν πιο καθαρό αφαιρώντας μικρόβια και βλαβερές χημικές ουσίες. Από αυτό προκύπτει νερό, αρκετά καλό για εφαρμογές όπως το πότισμα φυτών (*Sharma and Kennedy 2017*);).

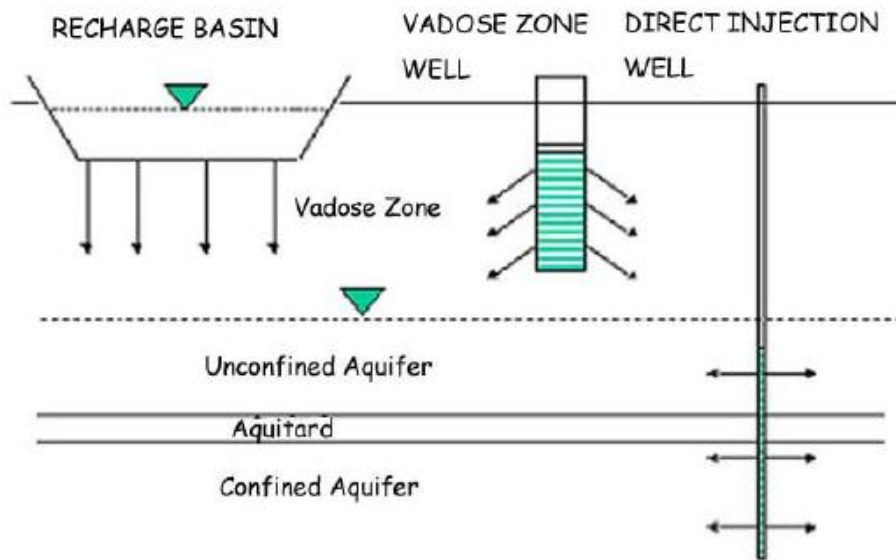
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδάτων είναι οι εξής:

Με επιφανειακή διάχυση: το ανακτώμενο νερό διατίθεται επιφανειακά σε συγκεκριμένες περιοχές ή λεκάνες στις οποίες το νερό διεισδύει το έδαφος μέχρι να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Κατά την διήθηση το νερό υπόκειται σε επιπλέον επεξεργασία με την βοήθεια του εδάφους, απομακρύνοντας αιωρούμενα στερεά, οργανικές ουσίες και άλλα συστατικά. Αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους λόγω του χαμηλού κόστους και αποδοτικότητας της. Τα κυρία μειονεκτήματα είναι η ανάγκη σε μεγάλη έκταση και η μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης καθώς και την εξάρτηση της από την διηθητικότητα του εδάφους. Παραλλαγή της μεθόδου είναι η χρήση λεκανών διάχυσης με τάφρους ή με διάνοιξη μικρών πηγαδιών για ταχύτερη διαδικασία.

Με έκχυση σε γεωτρήσεις, πηγάδια: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε περίπτωση που ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μεγάλο βάθος και η μέθοδος της διάχυσης δεν είναι εφαρμόσιμη λόγω συνθήκων όπως περιορισμένη έκταση ή άνυδρο κλίμα. Σε αντίθεση με την επιφανειακή διάχυση το ανακτώμενο νερό πρέπει να είναι καλύτερης ποιότητας καθώς γίνεται απευθείας διάχυση του στον υδροφόρο ορίζοντα για την αποφυγή μόλυνσης. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει με επιτυχία τέτοια έργα και παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πλεονεκτήματα είναι η ταχύτερη τροφοδοσία νερού, το βάθος στο οποίο μπορεί να φτάσει για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων. Μειονέκτημα είναι η δαπανηρή κατασκευή του έργου και η συντήρηση του. Στην περίπτωση των πηγαδιών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα μέχρι τίνος κατασκευασμένα. Η κατασκευή καινούργιου προϋποθέτει την μεγάλη διάμετρο του καθώς και επένδυση που θα δουλεύει ως επιπλέον επεξεργασία για το ανακτώμενο νερό. Μειονέκτημα είναι το μικρό βάθος τροφοδότησης, συνεχείς έλεγχοι για την πρόληψη μόλυνσης (ΤΟΖΙΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, 2016).

Στην κομητεία Orange της Καλιφόρνιας βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα προηγμένα έργα ανάκτησης νερού στον κόσμο, το Orange County Water District's Groundwater Replenishment System. Καθαρίζει τα επεξεργασμένα λύματα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακτημένου νερού, το οποίο εγχέεται σε λεκάνες υπόγειων υδάτων για την αναπλήρωση των τοπικών υπογείων υδάτων. Το έργο αυτό έχει βοηθήσει την κομητεία στην εξασφάλιση

παροχής νερού. Η επιτυχία του έργου δίνεται στις προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας νερού καθώς και στην ενεργή συμμετοχή του κοινού. Η μη συμμετοχή και αποδοχή του κοινού είναι ένας από τους μεγαλύτερους λόγους που δεν έχουν πέτυχει πολλά έργα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού.



Εικόνα 12: Μέθοδοι εμπλουτισμού υπογείων υδάτων

3.5 Αστική Χρήση

Εφαρμογές που αποτελούν την αστική επαναχρησιμοποίηση νερού ποικίλουν. Αρχικά όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2 η αστική άρδευση μπορεί επίσης να καταταχθεί στην αστική χρήση. Πέρα από αυτό η παροχή για το πότισμα γηπέδων, νεκροταφείων και άλλων δημοσίων χωρών όπως δημοσιές τουαλέτες, η τροφοδοσία και χρήση του από ιδιωτικές επιχειρήσεις για την πλήση οχημάτων, παράθυρων και άλλων. Η χρήση του για την πλήση των δρόμων, πεζοδρομίων, πλατειών. Εξοικονόμηση νερού με την αντικατάσταση του με ανακτημένο για την λειτουργία σιντριβανιών και χωρών αναψυχής όπως πισίνες. Όπως και την βιομηχανία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πυροσβεστικά συστήματα. Στην Αυστραλία έχουν γίνει μελέτες για το αν πυροσβεστικά συστήματα μπορούν να τροφοδοτηθούν με ανακτώμενο νερό και η

επίδραση τους στην υγεία του ανθρώπου, καταλήγοντας ότι πρόκειται για μια δυνατή εφαρμογή.

Στο Σίδνεϋ της Αυστραλίας, κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων του 2000, χρησιμοποίησαν ανακυκλωμένο νερό για να ξεπλένουν τις τουαλέτες και να ποτίζουν τις αθλητικές εγκαταστάσεις. Έδωσαν, μάλιστα, μέρος του πλεονάζοντος ανακυκλωμένου νερού σε κοντινά σπίτια για τους ίδιους σκοπούς. Στην Ελλάδα, ορισμένα ξενοδοχεία και ιδιωτικοί χώροι χρησιμοποιούν επίσης επεξεργασμένα λύματα για να ποτίζουν τους χώρους πρασίνου τους.

3.6 Ύδρευση

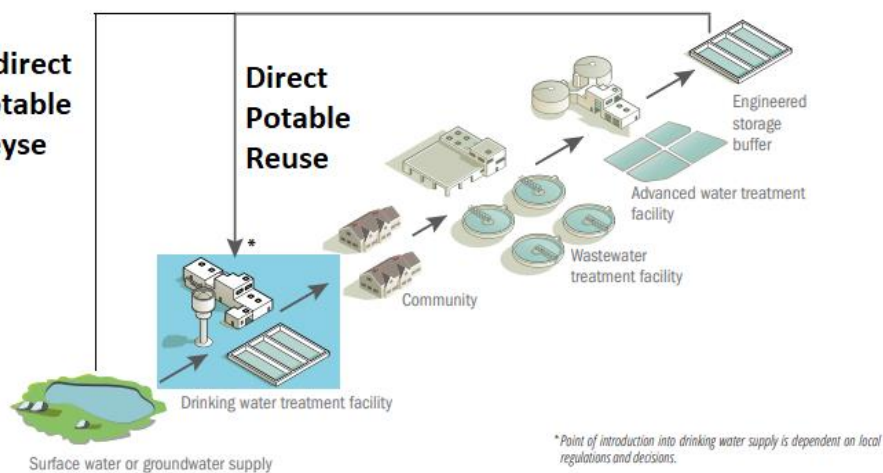
Ύδρευση με ανακτημένο νερό αποτελεί το επόμενο μεγάλο βήμα για μια κυκλική και βιώσιμη κοινωνία. Η εφαρμογή του ανακτωμένου νερού στην ύδρευση παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία από τις άλλες εφαρμογές λόγω των παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επεξεργασία των λυμάτων και διάθεσή τους. Η εφαρμογή της ύδρευσης φέρει μεγαλύτερη ευθύνη από όλες τις άλλες εφαρμογές και για να εφαρμοστεί πρέπει να υπάρχει ένα αυστηρό πλαίσιο κάτω από το οποίο δεν τείνετε η ύπαρξη λάθους. Το ανακτημένο νερό για ύδρευση έχει συνήθως επεξεργαστεί με προχωρημένες τεχνολογίες όπως η αντιστροφή όσμωση για την παραγωγή νερού όσο το δυνατόν πιο κοντά στο γλυκό νερό. Η ύδρευση χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, την άμεση και έμμεση πόση.

Στην **έμμεση πόση** το ανακτώμενο νερό διατίθεται σε ποταμιά και λίμνες, από τα οποία γίνεται άντληση για ύδρευση. Το ανακτώμενο νερό αναμειγνύεται με το γλυκό νερό των πηγών και στην συνέχεια περνάει από επεξεργασία για πόσιμο νερό, όπως όλα τα νερά των πηγών και τέλος αντλείται. Η έμμεση πόση εφαρμόζεται αρκετά χρονιά σε περιοχές που υπάρχει δυσκολία εύρεσης πηγής γλυκού νερού και για την αύξηση της ποσότητας νερού των επιφανειακών και υπογείων πηγών. Χώρες που απειλούνται από λειψυδρία είναι οι πρωτοπόρες στο τομέα επαναχρησιμοποίησης νερού για πόση. Συγκεκριμένα στη Σιγκαπούρη λόγω των σοβαρών ελλείψεων σε φρέσκο νερό δημιουργήθηκαν εγκαταστάσεις με σκοπό την

επεξεργασία υγρών αποβλήτων για έμμεση πόση. Το πρόγραμμα NEWater της Σιγκαπούρης είναι μια πρωτοποριακή πρωτοβουλία που επεξεργάζεται τα λύματα και παράγουν ένα υψηλής ποιότητας και εξαιρετικά καθαρό ανακτώμενο νερό χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες όπως η μικροδιήθηση, η αντίστροφη όσμωση και η απολύμανση με ακτινοβολία UV. Το παραγόμενο νερό πληροί αυστηρά πρότυπα ποσίου νερού. Το πρόγραμμα NEWater μείωσε σημαντικά την εξάρτηση της Σιγκαπούρης από το εισαγόμενο νερό. Η αποδοχή του κοινού για την πόση ανακτωμένου νερού επιτεύχθηκε μέσω προσπαθειών εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης. Σήμερα το ανακτημένο νερό καλύπτει έως και το 40% της ανάγκης νερού της χώρας παράγοντάς 285 εκ. κυβικά μετρά καθαρού νερού ετησίως και γίνονται συνεχείς προσπάθειες για την αύξηση του. Μέχρι το 2060 εκτιμάται να καλύπτει έως και το 55% της ανάγκης σε νερό.

Άμεση πόση είναι η απευθείας κατανάλωση του ανακτημένου νερού μετά την επεξεργασία χωρίς περεταίρω ανάμειξη. Αυτό επιτυγχάνεται με την τροφοδότηση τους στο σύστημα ύδρευσης ή σε συσκευαστήρια για την δημιουργία μπουκαλιών νερού και στη συνέχεια την διάθεση τους στο κοινό. Για κοινωνικούς λόγους η χρήση ανακτημένου νερού για άμεση πόση δεν είναι ευρύς διαδεδομένη. Η κοινωνία είναι σκεπτική για τα αποτελέσματα που θα έχει στην υγεία τους αν και υπάρχουν έρευνες που παρουσιάζουν ότι το ανακτημένο νερό είναι σε πολλές περιπτώσεις καλλίτερης ποιότητας από αυτών των πηγών καθώς και η ιδέα της πόσης νερού που δημιουργήθηκε έπειτα από επεξεργασία αποβλήτων δεν είναι αρεστή. Αυτό όμως συμβαίνει σε χώρες που δεν υπάρχουν προβλήματα λειψυδρίας. Αντιθέτως σε χώρες όπως η Σιγκαπούρη, η Ναμίμπια και άλλες όπου η εύρεση ποσίου νερού είναι δύσκολη δεν υπάρχει δεύτερη σκέψη. Συγκεκριμένα η Ναμίμπια είναι μια χώρα περιτριγυρισμένη από ερήμους, και απόμακρη από υδάτινα σώματα. Οι ελλείψεις σε πόσιμο νερό την ανάγκασαν στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση τους για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Είναι η πρώτη χώρα που εφάρμοσε το ανακτώμενο νερό για άμεση πόση καλύπτοντας έως και το 30% των αναγκών της πρωτεύουσας της.

Άλλες χώρες που εντάχθηκαν στην επαναχρησιμοποίηση του νερού για πόση είναι η Αυστραλία, η οποία επεξεργάζεται το 92% των αποβλήτων της και παράγει 2 εκατομμύρια κυβικά μετρά ανακτωμένου νερού ετησίως. Το Ισραήλ είναι παγκόσμιος ηγέτης στην επαναχρησιμοποίηση του νερού. Επεξεργάζεται το 90% των αποβλήτων του και επαναχρησιμοποιεί ένα σημαντικό μέρος των λυμάτων του για γεωργία καλύπτοντας το 50% της γεωργικής ανάγκης σε νερό. Χρησιμοποιεί επίσης προηγμένη τεχνολογία αφαλάτωσης για πόσιμο νερό. Η επιτυχία του Ισραήλ στην επαναχρησιμοποίηση οφείλεται στα αυστηρά πρότυπα ποιότητας του νερού που έχει εφαρμόσει σε συνδυασμό με την προσέγγιση του στο θέμα του νερού έχει καταφέρει να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τους λιγοστούς υδάτινους πόρους που έχει.

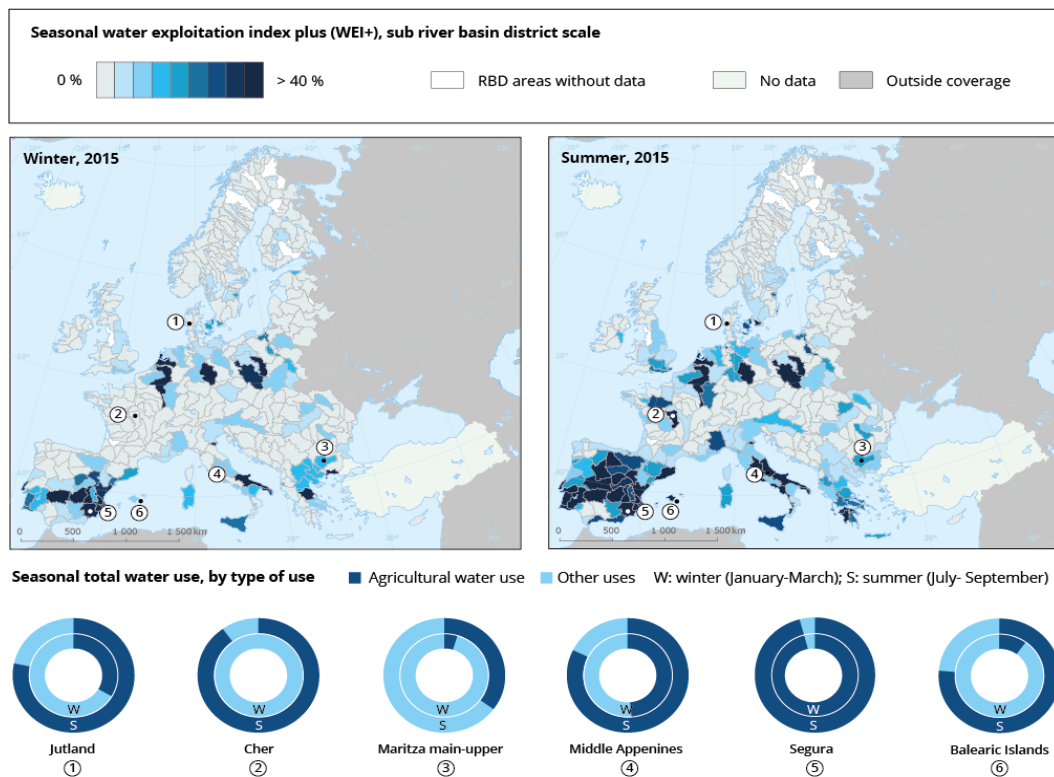


Εικόνα 13: Σχεδιάγραμμα ροής έμμεση και άμεσης πόσης (Potable Reuse 101, American Water Works Association)

3.7 Κατάσταση Επαναχρησιμοποίησης Νερού

Στην περίπτωση της Ευρώπης ο Ευρωπαϊκός οργανισμός Περιβάλλοντος παρουσίασε το 2019 ότι από την συνολική διαθέσιμη ποσότητα νερού, πάνω από το μισό (58%) χρησιμοποιείται στην γεωργία. Οι περιοχές που χρησιμοποιούν εντατικά την εφαρμογή αυτή είναι κυρίως οι νότιες χώρες τις Ευρώπης όπως Ελλάδα, Ιταλία και κυρίως η Ισπανία, δηλαδή χώρες που έχουν έρθει αντιμέτωπες με ξηρασίες και έχουν βασικά έλλειψη νερού. Υπάρχουν και μερικές

βόρειες χώρες όπως Γερμανία, Πολωνία και Γαλλία. Όπως παρατηρείται και στην παρακάτω εικόνα η χρήση νερού στην γεωργία είναι αυξημένη το καλοκαίρι με αποτέλεσμα την δημιουργία πίεσης κυρίως σε ποταμιά που τροφοδοτούν νερό για τις καλλιεργείες. Η χρήση ανακτωμένου νερού στις περιόδους του καλοκαιριού και ξηρασίας θα μπορούσαν να μειώσουν τη πίεση άντλησης των ποταμών εξασφαλίζοντας τις πηγές γλυκού νερού για πόσιμη χρήση.



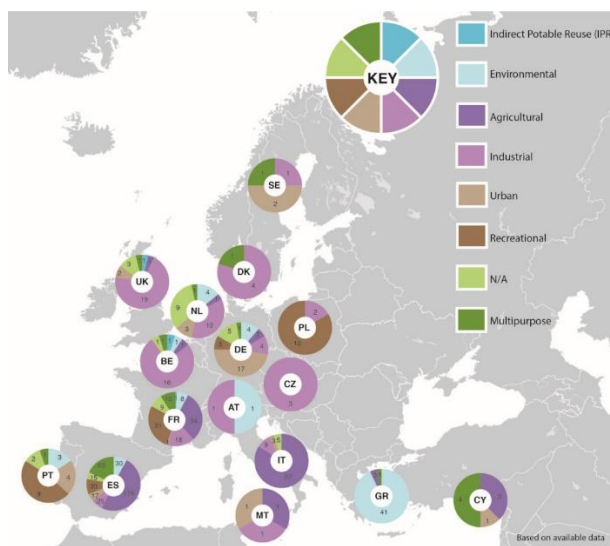
Εικόνα 14: Εποχιακή λειψυδρία σε ευρωπαϊκές υπολεκάνες εκφρασμένη μέσω του δείκτη εκμετάλλευσης νερού (WEI+), 2015

Στην Ευρώπη το 2019 το 38% του πληθυσμού επηρεάστηκε από λειψυδρία. Στην Ευρώπη περίπου 40 δις m³ (90%) αποβλήτων επεξεργάζονται ετησίως αλλά μόνο το 1 δις m³ επαναχρησιμοποιείται. Με βάση ερευνάς της (*Water Reuse Europe, 2017*) παρουσιάστηκαν 787 έργα που εξασκούν επαναχρησιμοποίηση νερού σε 16 χώρες της Ευρώπης, 437 περισσότερα από ό,τι είχε εντοπιστεί από την προηγούμενη ανασκόπηση του τομέα

επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ευρώπη που πραγματοποιήθηκε από τον (D. Bixio et al. 2006).

	Χώρα	Έργα	Συνολικά
Nothern EU	Germany	36	250
	France	112	
	Netherlands	28	
Southern EU	Spain	361	537
	Italy	99	
	Greece	44	

Πίνακας 4: Γεωγραφική κατανομή έργων επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ευρώπη



Εικόνα 15: Χάρτης Έργων επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ευρώπη, (Water Reuse Europe, 2017)

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται το πλήθος των έργων μαζί με τις χώρες και στην εικόνα 15 φαίνονται στον χάρτη. Παρατηρείτε ότι το σύνολο των έργων το 67% βρίσκονται στην νοτιά Ευρώπη και σε χώρες με λειψυδρία. Περισσότερα από 200 έργα βρίσκονται στην Ισπανία και το 17% σε νησιά στην Ελλάδα, Ισπανία, Κύπρο και τα κανάρια νησιά. Τα έργα αυτά καλύπτουν πόσιμες και μη επαναχρησιμοποιήσεις. Συνολικά, η γεωργική επαναχρησιμοποίηση

παραμένει η πιο κοινή εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ευρώπη με (39%) ακολουθούμενη από τη βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση (15%) και την επαναχρησιμοποίηση για ψυχαγωγικούς σκοπούς (11%). Επίσης η πλειονότητα των συστημάτων που ταξινομούνται ως βιομηχανικά (68%) βρίσκονται στη βόρεια Ευρώπη.

Στην Κίνα υπάρχει μια ανοδική πορεία στη κατασκευή μονάδων ανάκτησης νερού. Βασικό πρότυπο στις αστικές περιοχές είναι τα κεντρικά συστήματα επαναχρησιμοποίησης νερού, ενώ αποκεντρωμένα συστήματα επαναχρησιμοποίησης νερού εφαρμόζονται σποραδικά σε ορισμένα μεμονωμένα κτίρια και αγροτικές περιοχές. Παρατηρείται αύξηση του νερού επαναχρησιμοποίησης από το 2002 που ήταν μόλις 2 δις. m³ το χρόνο σε 4δις m³ το 2014 και 12.62 δις m³ το 2019, από το οποίο το 80% χρησιμοποιήθηκε σε περιβαλλοντικές και βιομηχανικές εφαρμογές καθώς και σε άρδευση. Το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης φτάνει τα 20% στις αστικές περιοχές Η ποσότητα των λυμάτων που απορρίφθηκε το 2019 ήταν 65,7 δις m³ νερού από τα οποία το 96% επεξεργάστηκε. Ο στόχος της είναι η επιτυχής επαναχρησιμοποίηση ποσοστού 35% στις περιοχές του Beijing-Tianjin-Hebei μέχρι το 2025 (*thesourcemagazine.org*). Η Ευρώπη σε σχέση με την Αμερική και την Ασία υστερεί σε έργα ανάκτησης. Η Ελλάδα συγκεκριμένα έχει μείνει πίσω γενικά στο τομέα της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης όπως φαίνεται από την εικόνα 15 παραπάνω. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια κινητικότητα στο τομέα αυτό. Στην Ελλάδα υπάρχουν παραπάνω από 200 WWTPs αλλά τα περισσότερα αποθέτουν το επεξεργασμένο νερό στη θάλασσα. Παρακάτω εμφανίζονται κάποια έργα επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα (*Εικόνα 16*) καθώς και έργα πιο γνωστά που επαναχρησιμοποιούν το νερό (*Εικόνα 17*)

Έργο	Περιφέρεια	Δυναμικότητα (m ³ /d)	Έκταση (στρεμ.)	Αρδευόμενα είδη
Θεσσαλονίκη	Κ. Μακεδονία	175000	25000	Αραβόσιτος, τεύτλα, ρύζι κ.α.
Λιβαδειά	Στ. Ελλάδα	3500		Ελιές, αραβόσιτος
Αμφισσα	Στ. Ελλάδα	400		Ελιές, Βαμβάκι, κ.α.
Νέα Καλικράτεια	Κ. Μακεδονία	800	1500	Αραβόσιτος, ελιές, κ.α.
Χερσόνησος	Κρήτη	4500	1000	Ελιές, κ.α.
Αρχάνες	Κρήτη	550	14500	Ελιές, αμπέλια, κ.α.
Κως	Β. Αιγαίο	3500	5000	Εσπεριδοειδή, ελιές, κ.α.
Άλλα		10000		
	Άρδευση άλλων εκτάσεων			
Χαλκίδα	Στ. Ελλάδα	4000	500	
Χερσόνησος	Κρήτη	500	80	
Α. Κωνσταντίνος	Β. Αιγαίο	200	100	
Κένταρχος	Β. Αιγαίο	100	50	
Κως	Β. Αιγαίο	500	100	
Κάρυστος	Ν. Αιγαίο	1450	300	
Ιερισσό	Ν. Αιγαίο	1500	250	
Άλλα		2000		
Έμμεσης επαναχρησιμοποίησης				
Λάρισα	Θεσσαλία	25000		Αραβόσιτος, Βαμβάκι, κ.α.
Καρδίτσα	Θεσσαλία	15000		Αραβόσιτος, Βαμβάκι κ.α.
Λαμία	Στ. Ελλάδα	15000		Ελιές, αραβόσιτος, βαμβάκι, κ.α.
Τρίπολη	Πελοπόννησος	18000		Μηλοειδή, πατάτες, κ.α.

Εικόνα 16: Έργα επαναχρησιμοποίησης ανά την Ελλάδα (Παρανυχιανάκης, 2009).

Population Served (Range)	WWTPs (n)	Capacity (hm ³ /yr)	Reused (hm ³ /yr)	Possible Reuse Type	Comments
<2000	250	8.50	2.80	Agricultural irrigation	Additional small projects (>3300), serving <2000 persons in various stages of planning and development (when completed, they will serve about 22% of the total Greek population)
2000–5000	70	47.00	1.30	Agricultural and landscape irrigation	
5000–15,000	95	167.00	2.50	Agricultural and landscape irrigation and groundwater recharge	Under construction: Palaiochora/Chania, Neapoli/Lasithi, Palaicastro (Sitias)/Lasithi
15,000–100,000	66	320.00	3.00	IPR, agricultural and landscape irrigation, and groundwater recharge	New plants in Koropi-Paiania and Marathon
100,000–150,000	4	30.00	0.75	Agricultural and landscape irrigation	Larisa, Rafina-Artemida, Ioannina, Katerini, Chania
>150,000	7	370.00	0.60	IPR, agricultural and landscape irrigation, and groundwater recharge	Psytalia, Metamorfofis, Thriasio, Patra, Rodos, Thessaloniki, Iraklio, and Volos
Total	492	942.50 ^a	10.95 ^{b,c}		

Note: ^a WWTPs under implementation are not considered. ^b agricultural use is about 1.45% of the freshwater irrigation. ^c About 1.16% of water is now used for agricultural uses.

Εικόνα 17: Έργα επαναχρησιμοποίησης ανά την Ελλάδα (Andreas N. Angelakis et al. 2023)

Ψυττάλεια είναι η μεγαλύτερη μονάδα επεξεργασίας υγρών απόβλητων στην Ελλάδα και επεξεργάζεται 730,000 m³ την ημέρα. Λειτουργεί από το 1994 με δυναμικότητα κάλυψης πληθυσμού 5600000 κατοίκων. Πρόσφατα υπογράφηκε η προγραμματική σύμβαση της Περιφέρειας Αττικής με την ΕΥΔΑΠ που αναλαμβάνει εξολοκλήρου τη δαπάνη για την μελέτη και την κατασκευή του έργου. Ο προϋπολογισμός του έργου εκτιμάται σε 37.900.000 ευρώ και οι βασικοί στόχοι που έχουν είναι η επαναχρησιμοποίηση των εκροών για :

- αναδάσωση του περιαστικού πρασίνου της Δυτικής Αττικής (όρος Αιγάλεω – Ποικίλον όρος), καλυπτόμενης επιφάνειας περίπου 73.000 στρεμμάτων
- άρδευση χώρων πρασίνου των Δήμων του ευρύτερου Πειραιά αλλά και της παραλιακής ζώνης από τον Πειραιά έως το Ελληνικό για τους ελεύθερους χώρους, μαρίνες κλπ
- πλύσιμο των δρόμων πεζοδρομίων, πλατειών των Δήμων και των διαφόρων εγκαταστάσεων τους
- πυρόσβεση
- κάλυψη αναγκών υδροβόρων βιομηχανιών και βιοτεχνιών καθώς και του Οργανισμού Λιμένα Πειραιώς (ΟΛΠ) με εξοικονόμηση 5.000.000 κυβικών μέτρων νερού της ΕΥΔΑΠ ΣΤ) εμπλουτισμό των ποταμών Κηφισού και Ιλισού, με σκοπό να επιτευχθεί η αποκατάσταση της ισορροπίας του οικοσυστήματος
- οικιακή χρήση στο μέλλον με την κατασκευή διπλών δικτύων, όχι για πόσιμο νερό

Αρχικά, οι χρήσεις αυτές θα καλυφθούν από 270.000 κυβικά ημερησίως. Επίσης θα γίνει η απαραίτητη επεξεργασία των εκροών με πρόβλεψη για διπλασιασμό στο μέλλον. Σε πρώτη φάση λοιπόν, οι εγκαταστάσεις επαναχρησιμοποίησης των εκροών της Ψυττάλειας θα καλύψουν δίκτυα ανακτημένου νερού προς τη Σαλαμίνα, Παραλιακό μέτωπο και Σχιστό για αστική και περιαστική χρήση (Μελανθία Λιαντράκη, 2019).

3.8 Παράγοντες που επηρεάζουν την κοινωνική αποδοχή

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την κοινωνική αποδοχή για την επαναχρησιμοποίηση νερού είναι:

- Ενημέρωση του κοινού: Η κοινωνική αποδοχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ενημέρωση και την επίγνωση του κοινού σχετικά με την τεχνολογία και τα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης του νερού. Οι πολίτες πρέπει να αντιληφθούν τα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης του νερού, όπως η μείωση του κόστους των υπηρεσιών νερού και η συνεισφορά στη βιωσιμότητα του νερού. Η ύπαρξη χαμηλότερης τιμής από την τιμή του παραδοσιακού νερού θα τους ενθάρρυνε στην αλλαγή νερού πχ για άρδευση.
- Υγεία και Κίνδυνος μόλυνσης: Τα πρότυπα ποιότητας του νερού πρέπει να είναι υψηλά και να επιβεβαιώνονται από αρμόδιες αρχές για να ενισχύσουν την εμπιστοσύνη του κοινού. Ο κίνδυνος που νιώθουν οι πολίτες για την επαναχρησιμοποίηση νερού οφείλετε στην θεωρητική ύπαρξη κάποιου λογού που θα καταστεί επικίνδυνο, όπως για τα άτομα με προβλήματα υγείας. Η αντίληψη ότι προέρχονται από τα απόβλητα είναι ακόμα ένας λόγος.
- Περιβαλλοντική Ευαισθησία: Οι πολίτες πρέπει να ευαισθητοποιηθούν σε θέματα σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος. είναι πιο πιθανό να υποστηρίξουν την επαναχρησιμοποίηση του νερού αν υπάρχει γνώση του αντικειμένου, κάτι που δεν εφαρμόζεται όσο θα έπρεπε.
- Η χρήση που προορίζεται το ανακτημένο νερό επηρεάζει την κοινωνική αποδοχή. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανίες ή γεωργία δεν θα είναι τόσο διστακτικοί όσο στη πόσιμη χρήση.
- Η ύπαρξη εναλλακτικής πηγής νερού είναι ένας ακόμα λόγος. Σε χώρες όπου υπάρχει έλλειψη νερού το κοινό δεν έχει τις ίδιες ιδιοτροπίες με αυτές των αναπτυγμένων χωρών.

Κεφάλαιο 4°. Τιμολόγηση

Με τον όρο **τιμολόγηση** χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε επιχειρηματική διαδικασία καθορισμού της τιμής πώλησης ενός αγαθού, ή της παροχής υπηρεσίας, σε αντιδιαστολή με την διατίμηση που επιβάλλει κρατικός φορέας. Γενικά η τιμολόγηση θα πρέπει να καλύπτει τόσο το μέσο κόστος παραγωγής όσο και το επιπλέον κέρδος του επιχειρηματία. Θεωρητικά η τιμή προσδιορίζεται σε οριακά επίπεδα κόστους και εσόδων. Στην ελεύθερη αγορά ακολουθούνται διάφορες τεχνικές και στρατηγικές. Για την τιμολόγηση ενός προϊόντος ή υπηρεσίας προηγείται αρχικά η κοστολόγηση δηλαδή ο προσδιορισμός του συνολικού κόστους για την παραγωγή μιας μονάδας προϊόντος ή υπηρεσίας. Παράγωγα της τιμολόγησης είναι ο τιμοκατάλογος δηλαδή ο κατάλογος των προϊόντων ή υπηρεσιών που προσφέρονται με την αντίστοιχη τιμή και το τιμολόγιο, αποδεικτικό στοιχείο για την αγορά του προϊόντος. Σύμφωνα με την ΕΟΧ, η τιμολόγηση νερού ορίζεται ως η εφαρμογή νομισματικής τιμής στην οποία μπορεί να γίνει αγορά ή πώληση νερού.

Η τιμολόγηση του ανακτώμενου νερού είναι μια σύνθετη διαδικασία στο πλαίσιο διαχείρισης του νερού που διαφοροποιείται ευρέως ανάλογα την τοποθεσία, το σκοπό και τις πολιτικές. Πρέπει να γίνει προσεχτική μελέτη διάφορων παραγόντων για την διασφάλιση της βιωσιμότητας των υπηρεσιών νερού, την ανάκτηση του κόστους και την προώθηση της εξοικονόμησης νερού. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το επίπεδο επεξεργασίας που απαιτείται, το κόστος της διανομής, η διαθεσιμότητα πόσιμου νερού και η ζήτηση για ανακτώμενο νερό.

Το πρώτο βήμα για την δημιουργία τιμολογίου είναι ο καθορισμός του κόστους λειτουργίας, επεξεργασίας, διανομής, συντήρησης του συστήματος ανακυκλωμένου νερού. Σε αυτά περιλαμβάνονται έξοδα που σχετίζονται με τη διαδικασία επεξεργασίας, έξοδα της χρησιμοποιημένης ενέργειας, των χημικών, της εργασίας και της συντήρησης εξοπλισμού. Κότσοι κατασκευής και συντήρησης υποδομών όπως δίκτυο διανομής, σωλήνες, δεξαμενές, κ.α, λειτουργικές δαπάνες, όπως μισθοί προσωπικού. Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός

των απαιτούμενων εσοδών για την κάλυψη όλων των παραπάνω δαπανών και τα κόστη κεφαλαίου. Και τέλος βάση των δυο παραπάνω βημάτων και τη χρήση των μεθόδων τιμολόγησης να βρεθεί η καταλληλότερη λύση.

Η θέσπιση τιμολογίων νερού επιδιώκει πολλούς στόχους. Οι κύριοι στόχοι της τιμολόγησης νερού περιλαμβάνουν τα εξής:

- Πλήρη ή μερική Ανάκτηση Κόστους: Πρέπει να διασφαλίζεται η κάλυψη του κόστους για τις υπηρεσίες νερού, επεξεργασίας και ανάκτησης. Το κόστος περιλαμβάνει τα κόστη λειτουργείας και συντήρησης, μεταφοράς, κεφάλαια.
- Απλότητα: Το τιμολόγιο πρέπει να είναι απλό και να κατανοείται εύκολα από τον πολίτη. Πρέπει να οι λειτουργίες και τα κόστη να αποτυπώνονται στο τιμολόγιο για μια διάφανη και έμπιστη συναλλαγή.
- Διασφάλιση Ποιότητας: Τα έσοδα από τα τιμολόγια νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναβάθμιση των υδραυλικών εγκαταστάσεων και τη διασφάλιση υψηλής ποιότητας του νερού που παρέχεται στους καταναλωτές.
- Ισότητα: Τα τιμολόγια νερού πρέπει να είναι δίκαια και να διασφαλίζουν ότι όλοι οι πολίτες έχουν πρόσβαση σε ασφαλές και προσιτό νερό, ανεξάρτητα από το εισόδημά τους. Ο κάθε πολίτης πρέπει να πληρώνει για αυτό που έχει καταναλώσει.
- Βιωσιμότητα: Πρέπει μέσα από την τιμολόγηση να ασφαρίζεται η περιβαλλοντική βιωσιμότητα, προωθεί την αποδοτική χρήση των υδάτινων πόρων και την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων. Πρέπει να κατανοηθεί η αξία του νερού στις εναλλακτικές λύσεις

4.1 Κατηγορίες Τιμολόγησης

Η τιμολόγηση νερού περιλαμβάνει τις εξής μεθόδους:

Ογκομετρική Μέθοδος: Η τιμή υπολογίζεται με βάση την ποσότητα του νερού που καταναλώθηκε. Οι πελάτες πληρώνουν το χρηματικό ποσό που αντιστοιχεί στην κατανάλωση

τους. Μεγαλύτερη χρήση ποσότητας σημαίνει υψηλότερο κόστος. Για να λειτουργήσει η μέθοδος αυτή πρέπει με κάποιο τρόπο να ελέγχεται η κατανάλωση κάθε πελάτη ξεχωριστά, για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται ο μετρητής παροχής. Πλεονεκτήματα της είναι παροχή κινήτρου στους πελάτες να χρησιμοποιούν το νερό αποτελεσματικά και να μειώσουν την κατανάλωσή τους. Η αύξηση της τιμής ανάλογα την χρήση έχει ως στόχο την μείωση της σπάταλης νερού. Οι υπηρεσίες νερού καλύπτουν τα κόστη τους με περισσότερη ακρίβεια. Προωθεί την ισότητα αφού ο καθένας τιμολογείται ανάλογα με το τι χρησιμοποιεί.

Ενιαία τιμολόγηση: Ο πελάτης χρεώνεται ένα σταθερό χρηματικό ποσό για μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού μηνιαία ή ετήσια. Στην περίπτωση αυτή ο πελάτης μπορεί να χρησιμοποιήσει όση ποσότητα νερού θέλει μέσα στο οροί που του έχει τεθεί και θα χρεωθεί το ίδιο ποσό. Δηλαδή είτε κάνει χρήση του 50% ή 100% θα χρεωθεί το ίδιο. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η απλότητα της τιμολόγησης χωρίς την ανάγκη μέτρησης της ποσότητας, η ευκολία του πελάτη στην οργάνωση των λογαριασμών του. Μειονεκτήματα είναι η έλλειψη κινήτρου για την μείωση της σπάταλης νερού. Το νερό που χρησιμοποιεί ο καθένας είναι διαφορετικής ποσότητας, οπότε δεν είναι δίκαιο να πληρώνουν όλοι το ίδιο. Η μέθοδος αυτή μπορεί να μην είναι επαρκής για την κάλυψη του κόστους των υπηρεσιών νερού.

Κλιμακωτή Τιμολόγηση: Το κλιμακωτό τιμολόγιο χωρίζει σε βαθμίδες την κατανάλωση με μια αντίστοιχη τιμή και χωρίζεται σε ανοδικό ή φθίνον. Κάθε τιμή αντίστοιχη σε μια βαθμίδα ή ομάδα ποσοτήτων νερού. Στο ανοδικό κλιμακωτό τιμολόγιο η τιμή αυξάνεται ανάλογα την βαθμίδα κατανάλωσης ενώ στο φθίνον η τιμή μειώνεται όσο αυξάνεται η βαθμίδα κατανάλωσης νερού. Η συνηθέστερη επιλογή είναι το ανοδικό κλιμακωτό τιμολόγιο καθώς το φθίνον δεν συμφέρει την υπηρεσία νερού καθώς δεν θα μπορέσει να καλύψει τα κόστη. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ενθάρρυνση της μείωσης σπάταλης νερού, η προώθηση της ισότητας στην τιμολόγηση.

Εποχιακά τιμολόγια: Τιμολόγια που ανάλογα την εποχή αυξάνεται ή μειώνεται η τιμή. Τους θερινούς μήνες η τιμή αυξάνεται λόγω της περιορισμένης ποσότητας νερού και τους χειμερινούς μήνες μειώνεται. Υπάρχουν παραλλαγή τέτοιων τιμολογίων με βάση την ώρα

αιχμής στη χρήση νερού. Στη περίπτωση αυτή κατά τις ώρες αιχμής το νερό χρεώνεται με μεγαλύτερη τιμή από την κανονική.

Τιμολόγηση βάση τιμής παραδοσιακού νερού: Υπάρχουν περιπτώσεις που η τιμή του ανακτωμένου νερού κοστολογείται ένα ποσοστό της τιμής του παραδοσιακού. Σε τέτοιες περιπτώσεις η τιμή του ανακτωμένου νερού ανέρχεται στα 80% της τιμής του παραδοσιακού. Αποτελεί μια απλή λύση τιμολόγησης όπου δεν υπάρχει ακριβής σχέδιο τιμολόγησης, λόγω της χαμηλής τιμής του σε σχέση με το παραδοσιακό παρέχει στους πελάτες ισχυρό κίνητρο για την χρήση του.

Τιμολόγηση βάση έκτασης: Σε πολλές περιπτώσεις κυρίως για γεωργική άρδευση η τιμή πώλησης ανακτωμένου νερού εξαρτάται από την έκταση που θέλει ο πελάτης να άρδευση. Χρεώνεται μια τιμή ανά εκτάριο ή στρέμμα.

Τιμολόγηση βάση χρήσης: Όπως φανερώνεται στο τίτλο η χρήση του ανακτωμένου νερού παίζει ρολό στην τιμή πώλησης. Διαφορετική τιμή θα έχει για αστική άρδευση, για γεωργική άρδευση ή βιομηχανική χρήση. Συνήθως με αυτή την μέθοδο η κατάταξη των χρήσεων έχει ως εξής με βάση την τιμή (αύξηση τιμής από αριστερά προς τα δεξιά).

Εμπλουτισμός Υδάτων < γεωργία < άρδευση αστική < βιομηχανία < πόσιμη χρήση

Τιμολόγηση με βάση κόστους: η μέθοδος αυτή θέτει την τιμή βάση του κόστους του συνόλου των διαδικασιών που χρειάστηκαν για την παραγωγή και διανομή του ανακτώμενου νερού. Διασφαλίζει ότι οι υπηρεσίες νερού μπορούν να ανακτήσουν το πλήρες ή μερικό κόστος της παροχής ανακυκλωμένου νερού και να διατηρήσουν την οικονομική βιωσιμότητα. Η διαδικασία τιμολόγησης είναι σαφής και διάφανη και μπορεί εύκολα να κατανοηθεί από τους πελάτες.

Τιμολόγηση βάση της ποιότητας: η ποιότητα του παραγόμενου νερού μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα τις επεξεργασίες που έχει περάσει και την τελική του ποιότητα.

Συνήθως η χαμηλότερη ποιότητα έχει περάσει από δευτεροβάθμια επεξεργασία και χρησιμοποιείται στην άρδευση αστικού τοπιού ή γεωργία.

Στην πραγματικότητα όλες οι παραπάνω μέθοδοι λειτουργούν συνδυαστικά για την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής τιμολόγησης. Όπως θα φανεί στις μελέτες περιπτώσεων η τιμολόγηση μπορεί να συνδυάσει πλήθος μεθόδων για την παραγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος. Στην τιμολόγηση παραδοσιακού νερού ύδρευσης γίνεται ανάλογα την χώρα, πολιτεία, αρχή διαφορετική τιμολόγηση. Η πιο σύνηθες είναι η ογκομετρική τιμολόγηση με ανοδικό κλιμακωτό τιμολόγιο και η χρέωση σταθερού πάγιου.

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμολόγηση του ανακτημένου νερού.

Τεχνολογία που χρησιμοποιείται: Η επιλογή της τεχνολογίας ανάκτησης νερού επηρεάζει σημαντικά το κόστος. Οι πιο προηγμένες τεχνολογίες, όπως η αντίστροφη όσμωση, μπορεί να είναι ακριβότερες στην αρχική επένδυση αλλά να παρέχουν υψηλή ποιότητα νερού. Ακολούθως η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί επηρεάζεται από:

1. **Αρχική Επένδυση:** Ορισμένες προηγμένες τεχνολογίες, όπως η αντίστροφη όσμωση, ενδέχεται να απαιτούν υψηλότερη αρχική επένδυση σε σύγκριση με πιο παραδοσιακές μεθόδους ανάκτησης νερού. Αυτό περιλαμβάνει το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού και των συστημάτων.
2. **Ενεργειακές Απαιτήσεις:** Οι πιο προηγμένες τεχνολογίες μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερη ενέργεια για τη λειτουργία τους, όπως η αντίστροφη όσμωση. Οι ενεργειακές απαιτήσεις επηρεάζουν το λειτουργικό κόστος του συστήματος.
3. **Κόστος Συντήρησης:** Κάποιες προηγμένες τεχνολογίες μπορεί να απαιτούν περισσότερη συντήρηση για να διατηρηθούν σε λειτουργική κατάσταση. Αυτό συμπεριλαμβάνει την αντικατάσταση εξαρτημάτων και τη συντήρηση των μονάδων επεξεργασίας.

4. **Ποιότητα Νερού:** Ορισμένες τεχνολογίες μπορεί να απαιτούν περισσότερη επεξεργασία για να παράγουν υψηλής ποιότητας νερό, ιδίως εάν πρέπει να πληρούν αυστηρές προδιαγραφές.
5. **Επίπεδο επεξεργασίας:** Το επίπεδο επεξεργασίας του νερού ανάκτησης επηρεάζει το κόστος. Το πρωτογενές, δευτερογενές και τριτογενές επίπεδο επεξεργασίας έχει διαφορετικά κόστη και ποιότητα νερού.

Απόσταση από τον τελικό χρήστη: Η απόσταση μεταξύ της μοναδας του νερού ανάκτησης και του τελικού χρήστη επηρεάζει το κόστος μεταφοράς. Μακρινές αποστάσεις μπορεί να αυξήσουν το κόστος μεταφοράς και την τιμή του νερού.

1. **Μεταφορά και Διανομή:** Όταν το νερό ανάκτησης πρέπει να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις από την τοποθεσία όπου επεξεργάστηκε στον τελικό χρήστη, αυξάνονται τα κόστη μεταφοράς και διανομής. Αυτά τα κόστη περιλαμβάνουν τα αγωγούς, τον εξοπλισμό, την ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά και τη διανομή, καθώς και τη συντήρηση του δικτύου.

Νομοθεσία και κανονισμοί: Οι υφιστάμενοι πολιτικοί κανονισμοί και οι πολιτικές που υποστηρίζουν την επαναχρησιμοποίηση του νερού μπορεί να επηρεάσουν την τιμολόγηση. Τα κίνητρα και οι επιδοτήσεις από τις κυβερνήσεις μπορεί να επηρεάσουν την βιωσιμότητα των έργων ανάκτησης νερού.

1. **Κίνητρα και Επιδοτήσεις:** Κυβερνητικά προγράμματα επιδοτήσεων και κίνητρα μπορούν να προωθήσουν την ανάπτυξη έργων ανάκτησης νερού. Εάν οι κυβερνητικές αρχές προσφέρουν οικονομικές επιδοτήσεις, φορολογικά κίνητρα ή άλλες μορφές χρηματικής στήριξης για έργα ανάκτησης νερού, αυτό μπορεί να μειώσει το κόστος και να καθιστά πιο ανταγωνιστική την τιμή του νερού ανάκτησης.
2. **Απαιτήσεις:** Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί και οι προδιαγραφές ποιότητας του νερού μπορεί να απαιτούν υψηλότερη επεξεργασία και σύνθετο εξοπλισμό, το οποίο ενδέχεται να αυξήσει το κόστος της ανάκτησης.

3. **Επιβολή Φόρων ή πάγιων:** Ορισμένες περιοχές επιβάλλουν φόρους ή τέλη στη χρήση του νερού ανάκτησης. Αυτές οι επιβαρύνσεις μπορούν να αυξήσουν το κόστος για τους χρήστες.
4. **Κοινωνική Αποδοχή:** Οι πολιτικές που αναφέρονται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την κοινωνική αποδοχή. Εάν οι πολίτες και οι επιχειρήσεις δεν αποδέχονται τη χρήση του νερού ανάκτησης για οποιονδήποτε λόγο, αυτό μπορεί να επηρεάσει τη ζήτηση και την τιμή..

Ζήτηση της αγοράς: Η ζήτηση της αγοράς για νερού ανάκτησης επηρεάζει την τιμολόγηση. Αν υπάρχει υψηλή ζήτηση σε μια περιοχή, οι τιμές μπορεί να αυξηθούν.

1. **Ζήτηση:** Σε περιοχές όπου το φρέσκο νερό είναι περιορισμένο ή όπου υπάρχει αυξημένη ανάγκη για νερό λόγω αυξημένου πληθυσμού, βιομηχανικών δραστηριοτήτων, ή γεωργικής χρήσης, η ζήτηση για νερού ανάκτησης μπορεί να αυξηθεί ή να είναι η μόνη επιλογή. Σε αυτές τις περιοχές, οι τιμές μπορεί να αυξηθούν λόγω του υψηλού ενδιαφέροντος.

Ωστόσο, οι υψηλές τιμές μπορούν να είναι αποθαρρυντικές για ορισμένους χρήστες ή εφαρμογές. Συνεπώς, η ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης καθώς και η καλή ρύθμιση από τις αρμόδιες αρχές είναι σημαντικές για την εξισορρόπηση των τιμών του νερού ανάκτησης στην αγορά.

Ηλικία και μέγεθος συστήματος: Το ηλικία και το μέγεθος του συστήματος επηρεάζουν τα κόστη συντήρησης και αναβάθμισης.

1. **Ηλικία του Συστήματος:** Όσο περνάει ο χρόνος, τα συστήματα νερού ανάκτησης χρειάζονται συντήρηση και σε περιπτώσεις ακόμα και αναβάθμιση. Κατά το πέρασμα των χρόνων, τα εξαρτήματα του συστήματος μπορεί να υποστούν φθορές και να απαιτούν αντικατάσταση ή επισκευή. Η συντήρηση των παλαιών συστημάτων μπορεί να γίνει δαπανηρή, ενώ παράλληλα τα παλαιά συστήματα ενδέχεται να μην

ανταποκρίνονται στις πιο σύγχρονες απαιτήσεις αποτελεσματικότητας και ποιότητας ανάκτησης.

2. **Μέγεθος του Συστήματος:** Το μέγεθος του συστήματος νερού ανάκτησης επίσης παίζει ρόλο στα κόστη. Ένα μεγαλύτερο σύστημα απαιτεί περισσότερο εξοπλισμό, μεγαλύτερες υποδομές, και συντήρηση. Το μέγεθος του συστήματος επηρεάζει τον όγκο του νερού ανάκτησης που πρέπει να διαχειριστεί, καθώς και την απόσταση μεταφοράς προς τους τελικούς χρήστες, με το αντίστοιχο κόστος.

Σχεδιάζοντας την αρχική εγκατάσταση με ποιοτικά υλικά και αναβαθμίζοντάς την κατάλληλα, είναι δυνατό να περιοριστούν οι δαπάνες συντήρησης στο μέλλον. Επιπλέον, πρέπει να εξετάζονται τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την αναβάθμιση των παλαιών συστημάτων, όπως η μείωση των απωλειών νερού και ενέργειας.

Για να διαχειριστούν αυτούς τους παράγοντες, οι οργανισμοί και οι αρχές πρέπει να προσδιορίσουν με προσοχή το μέγεθος του συστήματος και τις πραγματικές ανάγκες των τελικών χρηστών.

4.3 Πηγές Χρηματοδότησης στο πλαίσιο ανάκτησης νερού

Στην Ευρώπη υπάρχουν πολλές πηγές χρηματοδότησης για την επεξεργασία και ανάκτηση νερού από υγρά απόβλητα καθώς πρόκειται για ένα ζήτημα που ολοένα ερευνάται και αναπτύσσεται. Οι πηγές χρηματοδότησης αναφέρονται ως προγράμματα στην Ευρώπη και χωρίζονται σε ιδιωτικές και Ευρωπαϊκές δηλαδή της ΕΕ. Βάση της (*Gloria De Paoli et al. 2016*) ευρωπαϊκά προγράμματα είναι:

- Το Horizon 2020 είναι το μεγαλύτερο πρόγραμμα Έρευνας και Καινοτομίας της ΕΕ που υπήρξε, με σχεδόν 80 δισεκατομμύρια ευρώ διαθέσιμη χρηματοδότηση σε διάστημα 7 ετών (2014 έως 2020)(*atlantic-maritime-strategy.ec.europa.eu*).
- Το πρόγραμμα LIFE είναι το χρηματοδοτικό μέσο της ΕΕ για τη δράση για το περιβάλλον και το κλίμα. Έργα επαναχρησιμοποίησης νερού μπορούν να χρηματοδοτούν στο πλαίσιο του υποπρογράμματος Περιβάλλον και αποδοτικότητα των πόρων.

- Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης (EAFRD) είναι το πρόγραμμα για την βοήθεια ανάπτυξης αγροτικών περιοχών της ΕΕ. Επικεντρώνεται στη γεωργία και το περιβάλλον. Έργα ανάκτησης νερού μπορούν να χρηματοδοτούν στο πλαίσιο της ανάπτυξης των γεωργικών περιοχών.
- Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (EIB) μπορεί να παρέχει χρηματοδοτήσεις για δημοσίους και ιδιωτικούς πελάτες για την δημιουργία υποδομών διαχείρισης λυμάτων και ανάκτησης νερού. Αποτελεί ένα από τους μεγαλύτερους οργανισμούς χρηματοδότησης στο τομέα του νερού. Έχει χρηματοδοτήσει σχεδόν 79 δις. € για πάνω από 1600 έργα κάνοντας πρωταρχικό της στόχο την ασφάλιση νερού. Το 2022 χρηματοδοτηθήκαν 2,17 δις. € στο τομέα του νερού (*eib.org*).

Ιδιωτικά Προγράμματα είναι:

- ACQUEAU υποστηρίζει έργα κοντά στο τομέα του νερού, προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων, διαδικασιών και συστημάτων.
- Η Eurostars υποστηρίζει διεθνή καινοτόμα έργα από μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις που εκτελούν έρευνα και ανάπτυξη σε διάφορους τομείς περιλαμβανομένου και του τομέα νερού.
- Η Veolia VIA λειτουργεί ως προξενητής μεταξύ παροχών καινοτόμων λύσεων και ειδικών, ερευνητών και επιχειρήσεων σε όλη την Ευρώπη και χρηματοδοτεί τα καινοτόμα έργα που θεωρεί ότι θα προσφέρουν στην δημιουργία ενός καλύτερου περιβάλλοντος.

4.4 Περιπτώσεις Τιμολόγησης

Κάθε χώρα, πολιτεία ή και αρχή έχουν διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης είτε είναι για παραδοσιακό νερό είτε για το ανακτημένο.

Αυστραλία

Στην Αδελαΐδα η SA Water προμηθεύει την πόλη με ανακτώμενο νερό για πληθώρα εφαρμογών εκτός από πόσιμη χρήση. Η τιμή του παραδοσιακού νερού για οικιακή χρήση εφαρμόζεται μέσα από ανοδικό κλιμακωτό τιμολόγιο με τρεις κατηγορίες (*Πλιάτσικας Πετρούλας, 2023*).

1. Μέχρι 383,6 λίτρα ανά ημέρα είναι στα 1,966\$ το m³.
2. Από 383,6 μέχρι 1424,7 λίτρα αυξάνεται στα 2,806\$ το m³.
3. Πάνω από 1424,7 λίτρα η τιμή ανέρχεται στα 3,04\$ το m³.

Η εταιρεία Unity Water παράγει ανακτώμενο νερό τεσσάρων ποιοτήτων (A+,A,B,C). Κανένα από τα τέσσερα ποιότητας νερά είναι πόσιμα. Το A+ μπορεί να χρησιμοποιηθεί οικιακά μέσω της χρήσης διπλής δικτύωσης, ένα παρέχει παραδοσιακό νερό για ύδρευση και το άλλο ανακτώμενο νερό μη πόσιμο. Η τιμολόγηση που εφαρμόζεται είναι βάση ογκομετρικής παροχής. Συγκεκριμένα για νερό

- ποιότητας A+ η τιμή είναι στα 3,371\$ ανά m³.
- ποιότητας A η τιμή είναι στα 0.814\$ ανά m³.
- ποιότητας B η τιμή είναι στα 0.380\$ ανά m³.
- ποιότητας C η τιμή είναι στα 0.067\$ ανά m³.

Η ποιότητα A+ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις εφαρμογές (άρδευση, αστική) πλην πόσιμης χρήσης, γέμισμα δεξαμενών βροχής και πισίνων δηλαδή ότι μπορεί να έρθει σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο. Όσο η ποιότητα μειώνεται λιγότευουν και οι χρήσεις τους. Για τη ποιότητα A οι χρήσεις είναι ίδιες με το A+ εκτός από άρδευση σε χωράφια. Ποιότητες B,C είναι μόνο για καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου για μη κατανάλωση και πότισμα πάρκων και πεζοδρομίων.

Η Ballina Shire είναι μια τοπική αυτοδιοίκηση βόρεια της Νέας Νότιας Ουαλίας με πληθυσμό 44000 κατοίκων. Η κύρια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Lennox) της πόλης εξυπηρετεί 11000 κατοικίες και μικρό αριθμό εμπορικών χώρων επεξεργάζονται καθημερινά σχεδόν 4εκ. λίτρα υγρών αποβλήτων, παράγοντας ανακτώμενο νερό το οποίο στη συνέχεια διανέμει. Το 2023 η τιμή του παραδοσιακού νερού ήταν 2,66\$ ανά m³ για τα πρώτα 350 m³ ανά κατοικία ετησίως και μετά τα 350 m³ αυξάνεται η τιμή στα 3,99\$. Ενώ η τιμή του ανακτώμενου νερού είναι 2,13\$ ανά m³ με απεριόριστη χρήση. Όπως παρατηρείται η τιμή για το παραδοσιακό νερό ακολουθεί τιμολόγηση ογκομετρικής παροχής με ανοδικό κλιμακωτό

τιμολόγιο. Το ανακτώμενο νερό ακολουθεί μια απλή κοστολόγηση και τιμολογείται στο 80% του παραδοσιακού νερού.

Το Σίδνεϋ ως μια από τις μεγαλύτερες πόλεις της Αυστραλίας παρέχει ανακτώμενο νερό στους κατοίκους τις μέσω διπλής δικτύωσης και οι χρεώσεις φαίνονται στο παρακάτω πίνακα. Εφαρμόζει διπλή τιμολόγηση με σταθερό και μεταβλητό κόστος και χρεώνεται ανά τετράμηνο. Σταθερό κόστος είναι οι υπερθέσεις νερού όπως αποχέτευση και η διανομή, μεταβλητό κόστος εφαρμόζεται για το νερό που χρησιμοποιείται.

Χρήση	Πόσιμο		Ανακτώμενο νερό Sydney Olympic Park	δίκτυο αποχέτευσης	όμβριων υδάτων
	Με μετρητή	Χωρίς Μετρητή			
Τιμή	\$17.83	\$138.97	\$4.46	\$155.46	\$22.17
Τιμή νερού αν τα επίπεδα της δεξαμενή νερού πέσουν κάτω από 60%	\$17.83	\$181.62	-	-	-

Πίνακας 5: Σταθερή χρέωση ανά τετράμηνο για υπηρεσίας νερού (www.sydneywater.com.au)

Χρήση	Πόσιμο	Ανακτώμενο νερό	Ανακτώμενο νερό Sydney Olympic Park
Τιμή	\$2.67	\$2.40	\$2.52

Πίνακας 6: Χρέωση ανά m³ (ογκομετρική παροχή) (www.sydneywater.com.au)

Στην Σιγκαπούρη το ανακτώμενο νερό παρέχεται μέσω του προγράμματος NEWater. Παρακατω παρουσιάζονται οι τιμες νερου (παραδοσιακου και ανακτωμενου) για ολους τους τομεις. Η τιμη διαφερει αναλογα τον χρηστη, για αυτό το λογο εχουμε την πιο ακριβη τιμη για χρηστες που τους αποστελλεται το νερο. Για οικιακη χρηση εχουμε τιμολογιο ανοδικης

κλιμακωτης τιμολογησης δυο βαθμιδων. Για βιομηχανικη χρηση καθως και χρηση σε επιχειρησεις και NEWater εχουμε ογκομετρικη χρηση.

(\$/m3)	Potable Domestic		potable Businesses	NEWater	Industrial	Potable Water Price for Shipping Customers
Monthly Water Usage	0-10 m3	> 40 m3	(\$/m3)	(\$/m3)	(\$/m3)	(\$/m3)
Tariff	1.21\$	1.52\$	1.21\$	1.28\$	0.66\$	1.92\$
Water Conservation Tax (% of Tariff)	0.61\$	0.99\$	0.61\$	0.13\$		0.96\$
Waterborne Fee	0.92\$	1.18\$	0.92\$	0.92\$	0.92\$	0.92\$
total price	2.74\$	3.69\$	2.74\$	2.33\$	1.58\$	3.8\$

Πίνακας 7: Τιμή νερού ανάλογα με το είδος νερού στην Σιγκαπούρη (pub.gov.sg)

Το Τιμολόγιο Νερού (Tariff) καλύπτει το κόστος που προκύπτει σε διάφορα στάδια της διαδικασίας παραγωγής νερού — συλλογή όμβριων υδάτων, επεξεργασία ακατέργαστου νερού και διανομή επεξεργασμένου πόσιμου νερού στους πελάτες μέσω ενός εκτεταμένου δικτύου αγωγών ύδρευσης σε όλο το νησί. Το Τιμολόγιο Νερού χρεώνεται με βάση τον όγκο του νερού που καταναλώνεται. **Ο φόρος εξοικονόμησης νερού - Water Conservation Tax (WCT)** εισήχθη το 1991 για να ενθαρρύνει την εξοικονόμηση νερού και να αντικατοπτρίζει την αξία της λειψυδρίας του. Το WCT επιβάλλεται ως ποσοστό του τιμολογίου νερού για να ενισχύσει το μήνυμα ότι το νερό είναι πολύτιμο από την πρώτη κιόλας σταγόνα. **Το Waterborne Fee (WBF):** Κάθε σταγόνα χρησιμοποιημένου νερού συλλέγεται μέσω ενός ξεχωριστού δικτύου αποχετεύσεων και διοχετεύεται στις εγκαταστάσεις αποκατάστασης νερού για επεξεργασία, μετά την οποία καθαρίζεται περαιτέρω στο NEWater ή απορρίπτεται στη θάλασσα. Το Υδατογενές τέλος (WBF) προορίζεται για την κάλυψη του κόστους επεξεργασίας του χρησιμοποιημένου νερού και της συντήρησης του δικτύου χρησιμοποιημένου νερού. Η χρέωση γίνεται με βάση τον όγκο χρήσης του νερού (pub.gov.sg).

Αμερική

Στις ΗΠΑ έχουμε την περίπτωση της Καλιφορνίας καθώς ήταν η πρώτη με κανονιστικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση του νερού και εξακολουθεί να διαδίδει την χρήση του. Η κύριες εφαρμογές του ανακτώμενου νερού είναι η άρδευση(γεωργική και αστική), αναπλήρωση υδάτων και βιομηχανική χρήση. Η παροχή όγκου μετριέται σε CCF που αντιστοιχούν σε 100 κυβικά ποδιά. Για οικιακή χρήση ακολουθείται η ανοδική κλιμακωτή τιμολόγηση με τρεις διαβαθμίσεις, η τιμή ανέρχεται στα 1,53\$/m³ για τα πρώτα 17 CCF (1CCF = 100CF = 2.83 m³), για 18-25 CCF η τιμή αυξάνεται στα 1,9 \$/m³ και από 25 CCF και πάνω 2,86 \$/m³. Για μη οικιακή το πόσιμο νερό ανέρχεται στα 1,92 \$/m³ και η τιμή του ανακτώμενου νερού στα 0,78\$/m³ (Πλιάτσικας Πετρούλας, 2023). Για το ανακτώμενο νερό τιμολογείται ανά όγκο χρήσης. Προσοχή πρέπει να δοθεί καθώς η τιμολόγηση νερού έρχεται με σταθερό και μεταβλητό κόστος. Σταθερό είναι ένα ποσό που πληρώνεται μηνιαία ή ανά χρόνο για τις υπηρεσίες νερού που προσφέρονται και το μεταβλητό είναι ανάλογα τον όγκο που χρησιμοποιεί ο καθένας.

Για την πόλη του Tucson της Αριζόνα η τιμή του ανακτωμένου νερού υπολογίζεται με βάση ογκομετρική παροχή και ανέρχεται στα 2,13\$/CCF και μηνιαία σταθερή χρέωση για υπηρεσίες νερού ανάλογα το μέγεθος της σύνδεσης που ξεκινάει στα 10,95\$ για 5/8 inch, αυξάνεται στα 20,20\$ για σύνδεση μεγέθους 1 inch, 54,03\$ για 2 inch μέχρι και 1327,09\$ για 12 inch σύνδεση (tucsonaz.gov). Η μηνιαία χρέωση καλύπτει την μέτρηση του μετρητή όγκο παροχής, την συντήρηση και αντικατάσταση του, την συντήρηση μέρους του συστήματος διανομής και μέρος των κεφαλαιουχικών δαπανών που σχετίζονται με νερό από το Central Arizona Project – CAP και προστασία για πυρκαγιά. Ενώ η τιμολόγηση για το παραδοσιακό νερό περιλαμβάνει σταθερό και μεταβλητό κόστος. Το μεταβλητό πρόκειται για ανοδική κλιμακωτή τιμολόγηση με 4 διαβαθμίσεις και ανέρχεται στα 2,18\$/CCF για τα πρώτα 7CCF, στα 4,02\$/CCF για 8-15 CCF, στα 8,5\$/CCF για 16-30 CCF και >30 CCF κοστίζει 13\$/CCF. Το σταθερό κόστος καλύπτει τις υπηρεσίες νερού και ανέρχεται ανάλογα το μέγεθος σύνδεσης στα 17,52 για 5/8 inch, αυξάνεται στα \$36.61 για 1 inch κτλ. Υπάρχει επιπλέον μηνιαίο σταθερό κόστος για αποχέτευση.

Η κομητεία Orange ης Καλιφόρνια είναι γνωστή για το πρόγραμμα GWRS παρέχει και ανακτώμενο νερό. Μετα τη λειψυδρία το 2010 η Moulton Niguel η οποία είναι υπεύθυνη για την τιμολόγηση νερού στην κομητεία ανέλαβε δράση για την δημιουργία πιο αποτελεσματικής και αποδοτικής τιμολόγησης με σκοπό την μείωση αποβλήτων και όχι την μείωση χρήσης. Η τιμολόγηση βασίζεται σε κλιμακωτό σύστημα πέντε βαθμίδων. Το κλιμακωτό σύστημα προσφέρει σε κάθε κάτοικο υπολογισμένους προϋπολογισμούς νερού βάση των συνθηκών τους . Η συνθήκες του κάθε πελάτη περιλαμβάνουν το νερό που χρησιμοποιεί , τον αριθμό κατοίκων στο σπίτι, ημέρες στο κύκλο χρέωσης, η αρδευόμενη έκταση καθώς και παράγοντα εξωραϊσμού και ρυθμός εξατμισοδιαπνοής. Στην περίπτωση που κάποιος θα υπερβεί την υπολογισμένη ποσότητα που του έχει χρεωθεί τότε θα χρεωθούν το επιπλέον νερό με τιμή από μεγαλύτερη κλίμακα. Το κλιμακωτό σύστημα πέντε βαθμίδων παρουσιάζεται παρακάτω.

TIER WIDTHS HAVE BEEN EFFECTIVE SINCE APRIL 1, 2015		
	Single-Family, Multi-family Residential	Commercial, Potable Irrigation and Recycled Irrigation
Tier 1	Indoor Water Budget	Total Water Budget
Tier 2	Outdoor Water Budget	101% to 125% of Water Budget
Tier 3	101% to 125% of Total Water Budget	126% to 150% of Water Budget
Tier 4	126% to 150% of Total Water Budget	Over 150% of Water Budget
Tier 5	Over 150% of Total Water Budget	

Εικόνα 18: κλιμακωτό σύστημα τιμολόγησης πέντε βαθμίδων ανάλογα την χρήση (mnwd.com)

Για την ομαλή και καθαρή διαπεραίωση των συναλλαγών τους μεταξύ εταιρείας και πελατών έχουν δημοσιεύσει ένα φυλλάδιο με αναλυτικές οδηγίες για τον υπολογισμό του προϋπολογισμού κάθε πελάτη (<https://www.mnwd.com/wp-content/uploads/2021/11/2021-Prop-218-Notice.pdf>). Παρακάτω θα αναφερθούν οι βασικές οδηγίες. Η τιμολόγηση προκύπτει από σταθερό και μεταβλητό κόστος. Σταθερό είναι η μηνιαία υπηρεσία νερού βάση το μέγεθος της σύνδεσης (*Εικόνα 19*).

Meter Size	Effective January 1, 2023
5/8"	\$10.34
3/4"	\$10.34
1"	\$10.34
1.5"	\$22.15
2"	\$32.28
3"	\$64.34
4"	\$106.52
6"	\$216.21
8"	\$309.01
10"	\$494.62

Εικόνα 19: Τιμές κατοικίας για μηνιαίες χρεώσεις υπηρεσιών ύδρευσης (\$/μέτρο) (*mnwd.com*)

Για οικιακή χρήση ο συνολικός προϋπολογισμός του πελάτη είναι ο συνδυασμός των δυο πρώτων κατηγοριών Tier 1 και Tier 2 και υπολογίζονται όπως φαίνονται στα σχήματα παρακάτω. Η πρώτη φόρμουλα εξαρτάται από τα άτομα του νοικοκυριού, τις ημέρες κύκλου χρέωσης, το κάθε άτομο έχει κατά βάση 55 γαλόνια την ημέρα για χρήση. Το αποτέλεσμα της φόρμουλας μας δίνει τον προϋπολογισμό που μας θέτεται για εσωτερική χρήση. Αν ο πελάτης κατέχει και εξωτερικό χώρο όπως κήπο δεύτερη φόρμουλα υπολογίζεται βάση την έκταση της εξωτερικού χώρου, το μηνιαίο δείκτη εξατμισοδιαπνοής που είναι η ποσότητα του νερού που χάνεται κάθε μέρα λόγω της εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών. Η εξάτμιση θα ποικίλλει λόγω παραγόντων όπως ο άνεμος, η υγρασία και θερμοκρασία. Ο δείκτης εξωραϊσμού (Landscaping Factor) υπολογίζεται ως εξής: 0,7 για πόσιμο νερό, 0,8 για ανακτώμενο νερό και 1 για δημοσίους χώρους. Το 0,62 είναι ο συντελεστής μετατροπής της έκτασης σε γαλόνια. Το αποτέλεσμα της φόρμουλας μας δίνει τον προϋπολογισμό που μας θέτεται για εξωτερική χρήση. Αρά ο συνολικός προϋπολογισμός είναι το άθροισμα των δυο αποτελεσμάτων. Για το κάθε αποτέλεσμα πολλαπλασιάζετε με την τιμή της βαθμίδας (Πίνακας 2) στην οποία ανήκει και έτσι βγαίνει η μεταβλητή χρέωση νερού (*mnwd.com*).

Indoor Budget Formula:



Outdoor Budget Formula:



Εικόνα 20: Φόρμουλα προϋπολογισμού εσωτερικού και εξωτερικού χώρου αντίστοιχα (mnwd.com)

Tier	Effective February 1, 2022	Effective January 1, 2023
Tier 1	\$2.18	\$2.25
Tier 2	\$2.47	\$2.54
Tier 3	\$4.09	\$4.18
Tier 4	\$6.88	\$6.96
Tier 5	\$10.77	\$10.86

Εικόνα 21: Τιμές Νερού Κατοικίας για Ογκομετρικές Χρεώσεις - Ανά μονάδα χρέωσης (mnwd.com)

Tier	Effective February 1, 2022	Effective January 1, 2023
Tier 1	\$1.73	\$1.78
Tier 2	\$3.19	\$3.25
Tier 3	\$5.98	\$6.04
Tier 4	\$9.87	\$9.93

Εικόνα 22: Τιμές Ανακτωμένου Νερού για Ογκομετρικές Χρεώσεις - Ανά μονάδα χρέωσης (mnwd.com)

Tier	Effective February 1, 2022	Effective January 1, 2023
Tier 1	\$2.47	\$2.54
Tier 2	\$4.09	\$4.18
Tier 3	\$6.88	\$6.96
Tier 4	\$10.77	\$10.86

Εικόνα 23: Τιμές Νερού Κατοικίας για Ογκομετρικές Χρεώσεις - Ανά μονάδα χρέωσης (mnwd.com)

Παρόμοιοι υπολογισμοί γίνονται στην περίπτωση του ανακυκλωμένου νερού και το νερό για βιομηχανίες.

Συμπερασματικά στις ΗΠΑ η τιμή ανακτώμενου νερού και παραδοσιακού νερού εφαρμόζονται με την ίδια στρατηγική του μεικτού κόστους δηλαδή σταθερό και μεταβλητό κόστος. Στο σταθερό κόστος μπορεί να υπάρχουν διάφορες στις υπηρεσίες που περιλαμβάνουν ανάλογα τον στόχο τους. Το μεταβλητό κόστος είναι βασική χρέωση μέσω ογκομετρικής παροχής.

ΕΥΡΩΠΗ

Στην Ευρώπη αντιθέτως με τις ΗΠΑ η τιμολόγηση ανακτώμενου νερού δεν είναι ευρέα διαδεδομένη και για το λόγο αυτό στοιχεία τιμολόγησης είναι δύσκολα να βρεθούν. Στην Ισπανία στην λεκάνη Segura που διαχειρίζεται η Segura Hydrographic Confederation και διαθέτει νερό διαφορετικών πηγών για άρδευση. Οι τιμές διαμορφώνονται ως εξής ανά m³:

- 0,033 € για νερό από ποτάμι
- 0,10 € για νερό με μεταφορά από την λεκάνη
- 1 € για αφαλατωμένο νερό
- 0,5 € για ανακτώμενο νερό

Σύμφωνα με την εταιρεία δεν υπάρχει κάποιο οικονομικό όφελος στην χρήση ανακτώμενου νερού. Η χρήση του γίνεται μόνο λόγω της καταπόνησης του νερού της λεκάνης (Francisco López Peñalver et al. 2018)(European Commission - D5.1 REINVENTING WATER PRICING).

Άλλη περίπτωση είναι η επαρχία της Ταραγόνα που βρίσκεται στην Καταλονία, Ισπανίας. Η περιοχή είχε προβλήματα με έλλειψη νερού για χρόνια. Η Catalanian Water Agency ACA ιδιοκτήτρια των WWTPs της περιοχής θέτει τις τιμές για το νερό. Σύμφωνα με αυτή το κόστος έργων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων ανέρχεται στα 47εκ. € και το εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα ανακτώμενου νερού είναι 0,64 €/m³. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή 0,64 €/m³ καλύπτει τα κόστη λειτουργίας, συντήρησης και επένδυσης. Παράγει ανακτώμενο νερό μεγέθους 3,4 - 4 εκ. m³/χρόνο. Ο τελικός χρήστης του ανακτώμενου νερού είναι η βιομηχανία. Λόγω ελλείπων πληροφοριών η τελική τιμή δεν είναι διαθέσιμη αλλά βάση των βιομηχανιών η τιμή παραδοσιακού και ανακτώμενου νερού είναι παρόμοια. Η τιμολόγηση είναι σταθερή ανάλογα με την ογκομετρική παροχή. Για το παραδοσιακό νερό ισχύουν διαφορετικές τιμές για οικιακή χρήση και βιομηχανική. Η μέση οικιακή τιμή νερού στην επαρχία Ταραγόνα είναι 1.97 €/m³ για κατανάλωση 12 m³/μήνα. Η τιμή αυτή παριστάνει τη μέση αξία που θα πληρωθεί στο λογαριασμό του νερού. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται διαφορά στοιχεία. Χαμηλή τιμή για παροχή νερού για οικιακή χρήση περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Πάγιο σταθερό τέλος για την υπηρεσία ή/και ελάχιστη κατανάλωση
- Μεταβλητό κόστος για μπλοκ για τη διατήρηση μετρητών και συνδέσεων
- Πάγιο τέλος για μπλοκ για τη διατήρηση μετρητών και συνδέσεων.
- Άλλες χρεώσεις και επιβαρύνσεις που συνδέονται με την υπηρεσία

Η τιμή νερού είναι σχεδιασμένη για να καλύπτει όλες τις δραστηριότητες της Καταλανικής Υπηρεσίας Υδάτων, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης φραγμάτων, υπογείων υδάτων και μονάδων αφαλάτωσης ή της αποχέτευσης των λυμάτων. Η τιμή αποχέτευσης/απορροής συνδέεται με την κατανάλωση νερού. Η γενική τιμή για οικιακή χρήση είναι στα 0,56 €/m³ και η τιμή αυξάνεται ανάλογα την χρήση. Η τιμή για βιομηχανική χρήση ανέρχεται στα 0,163 €/m³. Από τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνεται ότι το ανακτώμενο νερό χρεώνεται βάση ογκομετρικής χρήσης, το παραδοσιακό νερό για οικιακή χρήση χωρίζεται σε τρία κόστη. Το κόστος υπηρεσιών νερού, κόστος νερού και κόστος αποχέτευσης. Το κόστος νερού εφαρμόζει ανοδικό κλιμακωτό τιμολόγιο βασισμένο σε όγκο, και το κόστος υπηρεσιών νερού

μεταβάλλεται ανάλογα του κόστους νερού. Το κόστος αποχέτευσης βασίζεται στο όγκο κατανάλωσης νερού. Για την βιομηχανική χρήση η τιμή προσαρμόζεται ανάλογα της μέτρησης του ρυπογόνου φορτίου (*Gloria De Paoli et al. 2016*).

Στο Sabadell της Ισπανίας το ανακτώμενο νερό χρησιμοποιείται για βιομηχανική και μη πόσιμη χρήση. Παράγει 120000 m³/χρόνο ανακτώμενο νερό. Η τιμή για βιομηχανική χρήση είναι 0,6917 €/m³ και για αστική μη πόσιμη χρήση 0,2767 €/m³. Το κόστος για λειτουργία και συντήρηση της μονάδας ανέρχονται στα 0,25€/m³ και δεν αναφέρονται τα επενδυτικά κόστη. Από ότι φαίνεται η αστική χρήση οριακά καλύπτει τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης αλλά τα συνολικά ετήσια έσοδα καλύπτουν πλήρως τα προαναφερθέντα κόστη και μέρος των επενδυτικών κοστών. Η τιμή του ανακτώμενου νερού είναι 63% και 35,5% λιγότερη για βιομηχανική και αστική χρήση αντίστοιχα σε σχέση με τη τιμή του παραδοσιακού νερού. Παρ'όλα αυτά καλύπτονται μόνο το 85% του κόστους των υπερηλίκων νερού(αποχέτευση και επεξεργασία, παραδοσιακό νερό, ανακτώμενο νερό). Βάση έρευνας της (*Gloria De Paoli et al. 2016*) η πλήρη κάλυψη των κοστών θα μπορούσε να επιτευχθεί με τρεις τρόπους. Α) Αύξηση τιμών για το παραδοσιακό νερό και για αποχέτευση και επεξεργασία. Β) Αύξηση τιμών παραδοσιακού και ανακτώμενου νερού για τους κάτοικους. Γ) Εισαγωγή ενός φόρου ή πάγιου για όλους τους πολίτες, καθώς έμμεσα ή άμεσα απολαμβάνουν κάποιο όφελος από το ανακτώμενο νερό. Οι δυο πρώτοι τρόποι δεν είναι ιδανική λόγω της αντίδρασης που θα προκληθεί από τους κάτοικους ενώ η τρίτη είναι ιδανικότερη λόγω της προθυμίας του κοινού να πληρώσει ένα ποσό κάθε χρόνο για την χρήση του ανακτωμένου νερού.

Στη Braunschweig της Γερμανίας η ανάκτηση νερού που γίνεται από τα τοπικά WWTPs εφαρμόζεται για την γεωργία. Παράγονται ετησίως 11εκ. m³ ανακτώμενο νερό. Οι αγρότες που το χρησιμοποιούν πληρώνουν 81€ ανά εκτάριο (1ha=10 στρέμματα ή 10000 m²) ετησίως. Τα ποσά που πληρώνονται από τους αγρότες καλύπτουν μόνο το 4% του κόστους και τα υπόλοιπα 96% καλύπτονται από τους κάτοικους της περιοχής μέσω χρεώσεων για αποχέτευση και επεξεργασία αποβλήτων. Αντίθετα η τιμή άρδευσης με υπόγεια νερά ανέρχεται στα 3,40€/ha που ισοδυναμεί με 0,34€/m³. Η υπηρεσία αποχέτευσης και επεξεργασίας

τιμολογείται στα 2,55€/m³ και εξαρτάται από τη ποσότητα νερού που χρησιμοποιεί ο κάθε κάτοικος και η τιμή παραδοσιακού νερού για ύδρευση ενέχεται στα 1,8€/m³ και μεταβάλλεται ανάλογα την κατανάλωση (ανοδικό κλιμακωτό τιμολόγιο).

Στο Μιλάνο, Ιταλίας το ανακτώμενο νερό χρησιμοποιείται για γεωργική άρδευση και διανέμεται αρχικά από την μονάδα επεξεργασίας στο συνεταιρισμό γεωργικής άρδευσης που διαχειρίζεται την άρδευση της περιοχής. Στην συνέχεια ο συνεταιρισμός διοχετεύει το ανακτώμενο νερό στο αρδευτικό κανάλι που διαθέτει και αναμειγνύεται με νερό από διαφορετικές πηγές. Ο συνεταιρισμός πληρώνει 1827€/έτος για το ανακτώμενο νερό και 27000€/έτος για την ενέργεια που καταναλώθηκε για την παραγωγή του ανακτωμένου νερού.

Η Κύπρος τιμολογεί το ανακυκλωμένο νερό με ενιαία τιμή ανάλογα την χρήση του. Για άρδευση πράσινου ανέρχεται στα 0,15-0,21€/m³, για γεωργική άρδευση είναι 0,05-0,07€/m³, για αναπλήρωση υπογείων υδάτων είναι 0,08€/m³. Στα νησιά Bora-Bora η άρδευση πράσινου με ανακτημένο νερό είναι στα 0,67-2,18 €/m³. Για βιομηχανική χρήση στην Κίνα είναι 0,33€/m³, στη El Segundo της Καλιφορνίας είναι 0,56€/m³.

Στο Ισραήλ, στο παρελθόν η τιμολόγηση νερού έπεφτε στην αρμοδιότητα των δήμων αλλά παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω της μη αποτελεσματικής διαχείρισης της και της ελλείπεις τιμολόγησής νερού που εφάρμοζαν. Επιπλέον τα έσοδα από την χρέωση νερού δεν χρησιμοποιήθηκαν σε διαφορετικές ανάγκες και όχι στη δημιουργία έργων και συντήρησης υποδομών ύδρευσης με τα έσοδα από την χρέωση νερού. Για το λόγο αυτό η τιμή του νερού καθορίζεται από την κυβέρνηση σε συνεργασία με την Αρχή Ύδρευσης και Αποχέτευσης. Το 2014 η τιμολόγηση του παραδοσιακού νερού γίνεται με ανοδικό κλιματικό τιμολόγιο. Μέχρι τα 7 m³ ανά κάτοικο για 60 μέρες ανέρχεται στα 1,96\$ και μετά τα 7 m³ στα 3,15\$. Παρακάτω παρουσιάζεται οι τιμές ποσίμου, ανακτημένου νερού για το Ισραήλ βάση της ερευνάς του (Aharoni, 2010).

	Agriculture (average)	Industry	Domestic	
			Consumer	Municipality
Potable	0.32 US\$ 0.4 US\$ 0.48 US\$	1.8 US\$ 2.1 US\$	1.75/2.57 US\$ 2.05/2.87 US\$	1.81 US\$ 2.1 US\$ Public parks
"SHAFDAN"	0.21 US\$			
Treated wastewater	0.18 US\$	20% less than potable water		
Saline	Gradual reduction from potable water, based on Salinity Level			

Εικόνα 24: Τιμές πόσιμου και ανακτημένου νερού στο Ισραήλ (Aharoni, 2010).

4.5 Περίπτωση Ελλάδας

Τιμολόγηση και αρμόδιοι φορείς

Η τιμολόγηση του νερού στην Ελλάδα είναι ένα ζήτημα που προκαλεί συνεχές συζητήσεις και αντιδράσεις καθώς επηρεάζει την κοινωνία, το περιβάλλον και την οικονομία. Όπως έχει αναφερθεί η τιμολόγηση του νερού βασίζεται σε διάφορα κριτήρια, όπως η ποιότητα, η ποσότητα, η χρήση, ο πάροχος του νερού και το είδος του νερού.

Η τιμολόγηση του νερού στην Ελλάδα γίνεται από **διάφορους φορείς**, ανάλογα με τον τύπο και την περιοχή. Το **πόσιμο νερό τιμολογείται** από τους παρόχους του νερού, που είναι δημόσιες επιχειρήσεις όπως η Εταιρεία Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) και η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ), είτε δημοτικές επιχειρήσεις όπως οι Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ). Η ΕΥΑΘ παρέχει ύδρευση στους παρακάτω δήμους: οι Δήμοι Θεσσαλονίκης, Αμπελοκήπων, Καλαμαριάς, Νεάπολης, Συκεών, Αγίου Παύλου, Μενεμένης, Πολίχνης, Ευκαρπίας, Τριανδρίας, Ελευθερίου Κορδελιού,

Ευόσμου, Σταυρούπολης, Πανοράματος, Πυλαίας, Ωραιοκάστρου, Πεύκων καθώς και η βιομηχανική περιοχή Θεσσαλονίκης (*eyath.gr*). Οι περιοχές που παρέχονται ύδρευση από την ΕΥΔΑΠ είναι όλοι οι δήμοι της περιφέρειας Αττικής, όπως αυτοί ορίζονται στο εδάφιο θ' της παράγρ. 3 του άρθρου 3 του ν. 3852/2010 πλην των Δήμων Αίγινας, Τροιζηνίας, Κυθήρων, Αγκιστρίου, Σπετσών, Ύδρας και Πόρου, της Περιφερειακής ενότητας Νήσων της Περιφέρειας Αττικής (*eydap.gr*). Για όλες τις υπόλοιπες περιοχές αρμόδια αρχή ύδρευσης είναι η ΔΕΥΑ. Σύμφωνα με την ΕΔΕΥΑ οι συνολικές ΔΕΥΑ ανέρχονται σε 126 (*edeya.gr*). Οι πάροχοι του νερού υπάγονται στην εποπτεία της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΕΕΥ), που είναι ένα ανεξάρτητο διοικητικό όργανο, που έχει την αρμοδιότητα να καθορίζει τα κριτήρια και τις μεθόδους τιμολόγησης του νερού, να ελέγχει την εφαρμογή τους και να επιβάλλει κυρώσεις σε περίπτωση παραβίασης.

Η **ΕΥΑΘ** και η **ΕΥΔΑΠ** εφαρμόζουν εδώ και χρόνια τιμολόγηση στην βάση της ανάκτησης του κόστους λειτουργίας συν κάποιο περιθώριο κέρδους. Για τις **ΔΕΥΑ** ως τώρα κάθε ΔΕΥΑ προσδιόριζε την τιμολογιακή πολιτική με βάση την πολιτική του αντίστοιχου Δήμου, κάποιες έκαναν ανάκτηση κόστους και κάποιες όχι, με αποτέλεσμα να έρθουν σε δεινή οικονομική θέση. Οι τιμοκατάλογοι που εφαρμόζονται μέχρι και τώρα είναι:

Για την ΕΥΔΑΠ το παρακάτω ισχύει από το 2013 μέχρι και σήμερα:



ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΕΥΔΑΠ Α.Ε.		
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (μ ³)	€/μ ³
ΥΔΡΕΥΣΗ (ισχύει από 16.12.2013- Φ.Ε.Κ. 3188B/16.12.2013)		
Κατηγορία I.		
ΓΕΝΙΚΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ – ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ	0 - 5	0,3500
	5 - 20	0,6400
	20 - 27	1,8300
	27 - 35	2,5600
	Άνω των 35	3,2000
Υποχρεωτική κατανάλωση 2 μ ³ / μήνα, αναστέλλεται για όσο χρόνο υπάρχει διακοπή υδροδότησης με αφαίρεση μετρητή		
Κατηγορία II.		
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ - ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ	μέχρι 1.000	0,8300
	Άνω των 1.000	0,9800
	* Υποχρεωτική κατανάλωση 100 μ ³ /μήνα	
Κατηγορία III.		
ΔΗΜΟΣΙΑ – ΔΗΜΟΤΙΚΑ -ΝΠΔΔ	ανεξαρτήτως μηνιαίας κατανάλωσης	0,9800
Κατηγορία IV.		
ΦΙΛΑΝΘΡΩΠΙΚΑ	ανεξαρτήτως μηνιαίας κατανάλωσης	0,2300
Κατηγορία V.		
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΙΚΤΩΝ ΔΗΜΩΝ & ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ –ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΝΗΣΩΝ	ανεξαρτήτως μηνιαίας κατανάλωσης	0,4880
Κατηγορία VI.		
ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΟΙΩΝ	ανεξαρτήτως μηνιαίας κατανάλωσης	2,4000
Κατηγορία VII.		
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ανεξαρτήτως όγκου ακινήτου και κατηγορίας κατανάλωσης	11,0100
Κατηγορία VIII.		
ΑΔΨΙΛΙΣΤΟ ΝΕΡΟ	για ολόκληρη την κατανάλωση που πραγματοποιείται από όλους τους υδρολήπτες της κατηγορίας αυτής	0,1804
ΜΗΝΙΑΙΟ ΠΑΓΙΟ ΤΕΛΟΣ		€/μήνα
παροχή με υδρ. μέχρι 5/8" και 3/4"	ως 30 m ³ / 3μηνο	1,00
	από 30 ως 60 m ³ / 3μηνο	1,00
	άνω των 60 m ³ / 3μηνο	1,00
παροχή με υδρ. μέχρι 1"	μηνιαία – για παροχές κυρίως επαγγελματικής-βιομηχανικής χρήσης και ενίσχυσης δικτύων ΟΤΑ	4,50
παροχή με υδρ. μέχρι 1 ^{1/2} "		4,50
παροχή με υδρ. μέχρι 2"		13,00
παροχή με υδρ. μέχρι 3"		13,00
παροχή με υδρ. μέχρι 4"		35,00
παροχή με υδρ. μέχρι 6"		35,00
ΔΙΚΑΙΩΜΑ ΧΡΗΣΗΣ ΥΠΟΝΟΜΩΝ		
Κοινοί καταναλωτές	75% x τιμής νερού (52.5% για κήπους άνω των 200μ ²)	
Δημόσια – Κανονικά	75% x τιμής νερού	
Φιλανθρωπικά	75% x τιμής νερού	
Βιομηχανικά	75% x τιμής νερού	
	37.5% για βιομηχανίες/βιοτεχνίες ποτοποιίας, παγοποιίας, χαρτοποιίας, παραγωγής τεχνητής μεταξής, υδρομετρητές σε οικοδομικά έργα	
ΦΠΑ		
ΦΠΑ 13%	Από 17.12.2010 13% επί της αξίας του καταναλισκόμενου νερού (Ν.3899/2010 Φ.Ε.Κ.212Α/17.12.2010)	
ΦΠΑ 24%	Από 01.06.2016 24% επί του παγίου τέλους + Δικ. Χρήσης Υπονόμων (Ν. 4389/2016 Φ.Ε.Κ. 94Α/27.05.2016)	

Εικόνα 25: Τιμολόγιο νερού ΕΥΔΑΠ (eydap.gr)

Για την ΕΥΑΘ ισχύει το παρακάτω τιμολόγιο:

Λοιπές κατηγορίες τιμοκαταλόγων

Κατηγορία	Τιμές 2013-2018 (€/m ³)	Κλίμακα 4μηνες κατανάλωσης σε m ³	Τιμές 2019-2020 (€/m ³)	Τιμές 2021 (€/m ³)
Κοινόχρηστο κατοικιών/άρδευση*	1,06	0-10	2,00	2,040
		11-100	2,50	2,550
		101 και άνω	3,60	3,672
Επαγγελματίες	0,81	0-200	0,70	0,714
		201 και άνω	0,95	0,969
Βιομηχανίες 0-500 m ³ /μήνα	0,52	0-2000	0,52	0,530
Βιομηχανίες 501 m ³ /μήνα και άνω	0,81	2001 και άνω	0,87	0,887
Δημόσιο – ΟΤΑ	0,65	0 και άνω	0,65	0,663
Ενίσχυση δικτύων ΟΤΑ*	0,35	0 και άνω	0,35	0,357
Φιλανθρωπικά Ν.Π.Ι.Δ		0 και άνω	0,65	0,663
Γεωτρήσεων		0 και άνω	0,30	0,306
Εφοδιασμός πλοίων*		0 και άνω	2,00	2,040
Βυτιοφόρα οχήματα*		0 και άνω	1,00	1,020
Υδροστόμια Πυρκαγιάς*		0 και άνω	5,00	5,100

Οικιακό τιμολόγιο

Κλίμακα 4μηνες κατανάλωσης 2013-2018	Τιμές σε €/κ.μ. 2013-2018	Κλίμακα 4μηνες κατανάλωσης 2019-2021	Τιμές σε €/κ.μ. 2019-2020	Τιμές σε €/κ.μ. 2021
0-10 m ³	0,46	0-10 m ³	0,42	0,42
11-30 m ³	0,63	11-40 m ³	0,60	0,612
31-60 m ³	0,72	41-60 m ³	0,70	0,714
61-120 m ³	1,16	61-120 m ³	1,20	1,224
121-180 m ³	2,39	121-160 m ³	3,60	3,672
181 m ³ και άνω	4,03	161 m ³ και άνω	4,40	4,488

Τέλη χρήσης υπονόμων

Υπολογίζονται επί της εκάστοτε συνολικής αξίας του νερού σε ποσοστό 80%.

Ειδικό Τέλος Κύκλου Νερού

Το Ειδικό Τέλος Κύκλου Νερού ανέρχεται σε 0,07 € ανά κυβικό μέτρο. Το εν λόγω ειδικό τέλος επιβαρύνεται με ΦΠΑ 24%.

Από την καταβολή του εξαιρούνται τα Ελληνικά Πετρέλαια, η Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης και οι ΟΤΑ για ενίσχυση των δικτύων τους από την ΕΥΑΘ, οι καταναλωτές που δεν χρεώνονται με τέλη αποχέτευσης καθώς και τα υδροστόμια πυρκαγιάς.

Πάγια τέλη

Τα επιβαλλόμενα πάγια τέλη, ανάλογα με τη διατομή της παροχής, εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Παροχές (διατομή)	Πάγιο τέλος ανά	Πάγιο Τέλος (σε €)
Φ13 & Φ20 (½' & ¾')	Μήνα	2,00
	Τετράμηνο	8,00
Φ25 (1')	Μήνα	5,00
	Τετράμηνο	20,00
Φ30 (1 ¼')	Μήνα	8,00
	Τετράμηνο	32,00
Φ40 (1 ½')	Μήνα	10,00
	Τετράμηνο	40,00
Φ50 (2')	Μήνα	15,00
	Τετράμηνο	60,00
Φ80 (3 ¼')	Μήνα	25,00
	Τετράμηνο	100,00
Φ100 - Φ200 (4 & άνω)	Μήνα	40,00
	Τετράμηνο	160,00

Εικόνα 26: Τιμολόγιο νερού ΕΥΑΘ

Η κοινή διαδικασία για την τιμολόγηση υπηρεσιών ύδατος βάση του ΦΕΚ 1751/Β/22-5-2017 είναι η εξής. Για τον προσδιορισμό των τιμολογίων οι πάροχοι υπηρεσιών ύδατος προς τελικούς χρήστες λαμβάνουν υπόψη, πέραν του χρηματοοικονομικού κόστους και το περιβαλλοντικό κόστος καθώς και το κόστος πόρου. Στα τιμολόγιά τους αναγράφεται υποχρεωτικά, με διακριτό, ευκρινή και εύληπτο τρόπο, το "περιβαλλοντικό τέλος". Οι πάροχοι υπηρεσιών ύδατος προβαίνουν στην είσπραξη του περιβαλλοντικού τέλους από τους τελικούς χρήστες. Οι ορισμοί για τα τρία είδών κόστους δίνονται από τον παραπάνω νόμο ως: « "Χρηματοοικονομικό κόστος": η οικονομική αποτίμηση του κόστους για όλα τα έργα, τις υποδομές και τις διαδικασίες που είναι απαραίτητες για τις υπηρεσίες παροχής ύδατος. Το χρηματοοικονομικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος κεφαλαίου, το λειτουργικό κόστος, το κόστος συντήρησης και το κόστος διοίκησης. "Περιβαλλοντικό κόστος": το κόστος της απόκλισης της κατάστασης των υδάτων από την καλή κατάσταση, η οποία απαιτείται για τη βιώσιμη χρήση του υδατικού πόρου σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς στόχους του άρθρου 4 του π.δ. 51/2007. "Κόστος πόρου": το κόστος άλλων εναλλακτικών χρήσεων του ύδατος, οι οποίες είναι αναγκαίες σε περίπτωση που το Υδατικό Σύστημα (ΥΣ) χρησιμοποιείται πέραν του ρυθμού της φυσικής του αναπλήρωσης. "Περιβαλλοντικό τέλος": η οικονομική συνεισφορά του τελικού χρήστη ανά κυβικό μέτρο (μ³) καταναλωθέντος ύδατος, που αντιστοιχεί στο περιβαλλοντικό κόστος και στο κόστος πόρου.» (ΦΕΚ 1751/Β/22-5-2017)

Στην τιμολόγηση ύδρευσης και αποχέτευσης, ο τρόπος τιμολόγησης βασίζεται στη μέθοδο τιμολόγησης με αύξουσες κλίμακες. Τα τέλη βάση της μεθόδου αυτής, αποτελούνται από ένα σταθερό τέλος και ένα μεταβλητό τέλος ανά μονάδα όγκου νερού (ογκομετρική χρέωση ανά κυβικό μέτρο κατανάλωσης νερού). Το σταθερό τέλος εκτιμάται έτσι ώστε να αντανakλά και να ανακτά το πάγιο/σταθερό κόστος κάθε παρόχου και εφαρμόζεται με σταθερή χρέωση ανά μετρητή νερού (ΦΕΚ 1751/Β/22-5-2017).

Στην τιμολόγηση άρδευσης γίνεται βάσει μικτού συστήματος χρέωσης και αποτελείται από δύο μέρη, ένα σταθερό τέλος και ένα μεταβλητό τέλος ανά μονάδα νερού (ογκομετρική χρέωση ανά κυβικό μέτρο κατανάλωσης νερού), το οποίο αυξάνεται βάσει της αύξησης της

κατανάλωσης αποτελώντας κίνητρο για τη μείωση της υπερκατανάλωσης. “Το σταθερό τέλος εφαρμόζεται στην άρδευση ανά στρέμμα καλλιέργειας. Τα μεταβλητά τέλη ανά κυβικό μέτρο εφαρμόζονται στους χρήστες, ανάλογα με την μετρηθείσα ποσότητα του ύδατος για αγροτική χρήση που καταναλώθηκε. Στα μεταβλητά τέλη περιλαμβάνεται και το περιβαλλοντικό τέλος.” (ΦΕΚ 1751/Β/22-5-2017)

Για την ΔΕΥΑ τα πράγματα είναι λίγο πιο περιπλοκά καθώς κάθε δήμος έχει διαφορετική τιμολογιακή πολιτική. Για παράδειγμα ο Δήμος Κορίνθου, το τιμολόγιο που δημιουργήθηκε το 2018 έχει σταθερό πάγιο τέλος ύδρευσης 10 €/τρίμηνο και επιπλέον του πάγιου υπάρχει κλιμακωτό τιμολόγιο ανάλογα της κατανάλωσης (Από 0-30κ.μ τέλος 0,25€/κ.μ., Από 31-50 κ.μ./τρίμηνο τέλος 0,67€/κ.μ. , Από 51-90 κ.μ./τρίμηνο τέλος 1,04€/κ.μ., Από 91-150 κ.μ./τρίμηνο τέλος 1,49€/κ.μ. , Από 151-250 κ.μ./τρίμηνο τέλος 1,94€/κ.μ. , Από 250 κ.μ./τρίμηνο και άνω τέλος 2,24€/κ.μ.). Υπάρχουν επίσης και διαφορετικά τιμολόγια που στοχεύουν διαφορετικούς τομείς όπως ευπαθείς ομάδες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, στρατόπεδα, σχολεία και άλλα. Πέρα από αυτά υπάρχουν και πάγια για την αποχέτευση, ειδικά τέλη για την συντήρηση και επέκταση των έργων και λοιπά τέλη που αφορούν την συντήρηση, τέλη συνδέσεων και άλλα. (*deyakor.gr*) Σε αντίθεση η ΔΕΥΑΜΒ (ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ) έχει το παρακάτω κλιμακωτό τιμολόγιο, (για 0κ.μ/τρίμηνο υπάρχει σταθερή χρέωση 8,40€/τρίμηνο Από 1-25κ.μ/τρίμηνο τέλος 0,41€/κ.μ., Από 26-40 κ.μ./τρίμηνο τέλος 0,95€/κ.μ. , Από 41-50 κ.μ./τρίμηνο τέλος 0,98€/κ.μ., Από 51-60 κ.μ./τρίμηνο τέλος 1,12€/κ.μ. , Από 61-80 κ.μ./τρίμηνο τέλος 1,33€/κ.μ. , Από 81-100 κ.μ./τρίμηνο και τέλος 1,84€/κ.μ. , Από 101 και άνω κ.μ./τρίμηνο και τέλος 2,00€/κ.μ.). Επιπλέον για την αποχέτευση υπάρχει κόστος 60% της τιμής του νερού. Από ότι φαίνεται τα τιμολόγια διαφέρουν αρκετά για κάθε ΔΕΥΑ (*deyamv.gr*).

Για να λυθούν αυτά τα προβλήματα από τον Μάιο του 2023 ψηφίστηκε ο νόμος Ν 5037/2023 για την υπαγωγή όλων των οργανισμών ύδρευσης στη Ρυθμιστική Αρχή (ΡΑΑΕΥ). Βάση του οποίου όλοι θα πρέπει να κάνουν τιμολόγηση με συγκεκριμένο τρόπο (εν πολλοίς αυτό που

κάνουν η ΕΥΑΘ και η ΕΥΔΑΠ). Συγκεκριμένα αναφέρεται στην ανάγκη ανάκτησης κόστους των υπηρεσιών ύδατος στο οποίο περιλαμβάνετε το περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος καθώς και το κόστος πόρου. Επισημαίνεται πως οι πολιτικές τιμολόγησης θα πρέπει να παρέχουν στους χρήστες τους καταλληλά κίνητρα για την αποτελεσματική χρήση των υδάτινων πόρων και την εξασφάλιση ανάκτησης κόστους βάση της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Επίσης δηλώνει την ανάγκη αυστηρής εποπτείας των παροχών υπηρεσιών ύδατος που θα επιτυγχάνεται μέσω ετήσιων αναφορών των παροχών προς την ΡΑΑΕΥ που θα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων στοιχείων, αναλυτικό ετήσιο προϋπολογισμό και σχέδια διαχείρισης υδάτινων πόρων. Αυτό εφαρμόζεται από τις αρχές του 2024 για παρόχους υπηρεσιών ύδατος που εξυπηρετούν περιοχές με μόνιμο πληθυσμό άνω των εκατό χιλιάδων κατοίκων και από την αρχή του 2025 για όλους τους υπόλοιπους παρόχους υπηρεσιών ύδατος.

Μακροβιότητα μέσω τιμολόγησης

Η μακροβιότητα του νερού είναι ένα θέμα που πρέπει να μας προβληματίζει. Η μακροβιότητα του νερού μέσω σωστής τιμολόγησης μπορεί και πρέπει να εφαρμόζεται. Η μακροβιότητα μπορεί να επιτευχθεί αρχικά βάση της τιμολόγησης, αυτό επιτυγχάνεται με τιμολόγια που αποτρέπουν την σπατάλη νερού και αυτό γίνεται βάση των κλιμακωτών τιμολογίων. Στα κλιμακωτά τιμολόγια όσο περισσότερο χρησιμοποιείται το νερό τόσο θα αυξάνεται και η τιμή του. Για τη σωστή τιμολόγηση νερού έχουν δημιουργηθεί αρκετά τιμολόγια για διαφορετικές χρήσεις και ενσωματώνουν και αυτά τη κλιμακωτή μέθοδο. Μεγάλες καταναλώσεις νερού για παράδειγμα για χρήση πισίνας ή πότισμα μεγάλου κήπου πρέπει και χρεώνονται ακριβότερα. Για παράδειγμα στην ΕΥΑΘ η κοινόχρηστη χρήση νερού ή για άρδευση, που χρειάζονται μεγάλες ποσότητες χρεώνεται 4 και 5 φορές ακριβότερα από την οικιακή ύδρευση.

Άλλος ένας τρόπος για την αποφυγή σπάταλης και ένα βήματος πιο κοντά στην μακροβιότητα του νερού είναι η εγκατάσταση και χρήση έξυπνων υδρομέτρων. Οι έξυπνοι υδρομετρητές έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο τόσο από τον ιδιοκτήτη όσο και από τον πάροχο, χωρίς την ανάγκη επιθεώρησης ή εκτίμησης. Αποτέλεσμα

αυτού είναι ο πάροχος να ξέρει ακριβώς τη ποσότητα που έχει καταναλωθεί και κατά συνέχεια την εφαρμογή σωστής τιμολόγησης αλλά και ο ιδιοκτήτης να μπορεί να επιβλέπει την κατανάλωση του και να αναγνωρίζει τις διαρροές και σε ποιες περιπτώσεις γίνεται υπερβολική χρήση.

Άλλο ένα θέμα είναι εάν η τιμή που πληρώνουμε για το νερό αντικατοπτρίζει την αξία του. Όπως έχει αναφερθεί το νερό είναι ένα πολύτιμο αγαθό που μπορεί να θεωρηθεί ως ανανεώσιμο αλλά και περιορισμένο πόρο. Συνήθως η τιμή που χρεώνεται ο τελικός χρήστης αντικατοπτρίζει το κόστος όλων των διαδικασιών μέσω των οποίων φτάνει το νερό για κατανάλωση, όπως η επεξεργασία, διανομή και συντήρηση των δικτύων συν ενός περιθώριο κέρδους για τους παρόχους. Βάση νόμων έχει δημιουργηθεί το περιβαλλοντικό τέλος, που προσπαθεί να αντικατοπτρίζει την περιβαλλοντική αξία του νερού. Η δημιουργία του αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος μέσω των εσοδών του περιβαλλοντικού τέλους και την προώθηση μιας βιώσιμης διαχείρισης του νερού.

Τιμή νερού στον αγροτικό κλάδο

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει άμεση ανάγκη για πόσιμο νερό μέσω ανάκτησης λόγω των υπαρχόντων πηγών μας. Βάση της ευρωπαϊκής οδηγίας κάθε κράτος είναι υποχρεωμένο να κάνει ανάκτηση νερού. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στην ξελαφρώσει τις πιέσεις που δέχονται οι πηγές ποσίου νερού όταν χρησιμοποιούνται για την γεωργία.

Όπως έχει αναφερθεί, σε παγκόσμια κλίμακα το νερό ανάκτησης από βιολογικούς χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς. Στην Ελλάδα, σε συγχρόνους τριτοβάθμιους βιολογικούς το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με κάποιους περιορισμούς. Περιορισμοί συνήθως απευθύνονται στο είδος της καλλιέργειας. Κατασκευάζονται εδώ και χρόνια πιλοτικά έργα για την χρήση νερού από βιολογικούς αλλά δυστυχώς ο αγροτικός κλάδος δεν ενδιαφέρεται, διότι έχει δωρεάν νερό από τους ΤΟΕΒ και ΓΟΕΒ. ΤΟΕΒ και ΓΟΕΒ είναι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων και Γενικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων που θεσπίστηκαν το 1958 λόγω της ανάγκης διαχείρισης εγγειοβελτιωτικών έργων, που δεν

μπορούσαν να γίνουν ατομικά από τους αγρότες. Ουσιαστικά πρόκειται για συλλογικούς φορείς, συνεταιρισμούς αγροτών. Το νερό που δίνεται από τους ΤΟΕΒ, ΓΟΕΒ μπορεί να χαρακτηριστεί δωρεάν σε μερικές περιπτώσεις λόγω της πολύ χαμηλής τιμής του, 3 λεπτά το κυβικό μέτρο ή και λιγότερο. Σε άλλες περιπτώσεις η τιμή μπορεί να φτάσει ακραία και τα 30 λεπτά το κυβικό μέτρο. Βάση τη μελέτη της διανεοσις λειτουργούν στην Ελλάδα περισσότεροι από 450 ΤΟΕΒ και ΓΟΕΒ, χωρίς όμως να υπάρχει σαφής εικόνα και κατά πλειονότητα έλλειψη στοιχείων κατανάλωσης και χρέωσης. (dianeosis.org)

Λόγω έλλειψης κεντρικής διαχείρισης δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της ποσότητας νερού που καταναλώνεται ή αν χρεώνεται. Πέρα από τους ΤΟΕΒ και ΓΟΕΒ για άρδευση σε περιοχές που δεν υπάρχουν τέτοιοι οργανισμοί αξιοποιούνται ιδιωτικές γεωτρήσεις του κάθε αγρότη, άδειες για λήψη νερού από ποτάμια ή ακόμα και τεχνητές λίμνες της κοινότητας που γεμίζουν νερό από βροχή και υπόγεια ύδατα (όπως νερό από το λιώσιμο χιονιού από τα βουνά). Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η αγροτική γη που έχει πρόσβαση σε καταγεγραμμένη άρδευση δεν φτάνει ούτε το 50% της συνολικής με την πλειονότητα να υπάρχει στην βόρεια και κεντρική Ελλάδα. Λόγω αυτών των λόγων ο αγροτικός κλάδος δεν ενδιαφέρεται για άρδευση από βιολογικούς καθώς και η τιμή του νερού ανάκτησης ξεπερνά την τιμή των 3 λεπτών ανά κυβικό μέτρο. Από την άλλη πλευρά λόγω της ευρωπαϊκής οδηγίας του 2020 για επαναχρησιμοποίηση των υδάτων είναι υποχρεωμένη ως χώρα να εφαρμοστεί. Το ζήτημα είναι το πως θα γίνει αυτό. Η μελέτη της διανεοσις προτείνει την συγχώνευση των ΤΟΕΒ και ΓΟΕΒ και ίδρυση κεντρικής υπηρεσίας που θα τα διαχειρίζεται και η υιοθέτηση υδρομετρητών ακόμα και για τις καλλιέργειες.

Κεφάλαιο 5ο: Νομοθεσία – Πρότυπα

Η συνεχής αύξηση της επαναχρησιμοποίησης του νερού έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία νόμων και κανονισμών για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον. Οι κανονισμοί αυτοί είναι αναγκαίοι για την ορθή λειτουργία του συστήματος της επαναχρησιμοποίησης του νερού, την μείωση των κινδύνων καθώς και την δημιουργία προϋποθέσεων για την αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος και την εξοικονόμηση πόρων. Λόγω της έλλειψης νόμων και κανονισμών σε πολλές χώρες, διάφορες διεθνείς και παγκόσμιοι οργανισμοί ανέλαβαν την δημιουργία οδηγιών που προσφέρουν υποδείξεις για την αποτελεσματικό χειρισμό του συστήματος της επαναχρησιμοποίησης νερού. Αυτές οι οδηγίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την ανάπτυξη νόμων σε κάθε χώρα ανάλογα τις συνθήκες και τις ανάγκες τους.

Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην Ευρώπη οι οδηγίες που θεσπίστηκαν και εφαρμοστήκαν για την επαναχρησιμοποίηση του νερού με χρονολογική σειρά είναι:

- Η οδηγία (80/778/EC) με ονομασία (1st Drinking Water Directive - DWD) που θεσπίστηκε το 1980 είχε ως σκοπό τον καθορισμό της ποιότητας του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωσή. Το άρθρο 8 της οδηγίας όριζε ότι κάθε μέλος της ΕΕ θα πρέπει να λαμβάνει όλα τα δυνατά μετρά για την διασφάλιση της ποιότητας του νερού. Έθεσε για πρώτη φορά τα υποχρεωτικά ελάχιστα όρια 60 ουσιών που περιέχονται στο νερό.
- Η οδηγία (91/271/EC) με ονομασία (Urban Wastewater Treatment Council Directive) θεσπίστηκε το 1991 για την επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων. Οι βασικοί στόχοι της ήταν η προστασία του περιβάλλοντος από της αρνητικές επιπτώσεις των απορρίψεων αστικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα επέβαλε την συλλογή των λυμάτων από όλες τις αστικές περιοχές με πληθυσμό άνω των 2000 κατοίκων και την χρήση τουλάχιστον δευτεροβάθμιας επεξεργασίας πριν γίνει η διάθεση τους στο περιβάλλον.

- Η οδηγία (98/83/EC) το 1998 πρόκειται για αναθεώρηση της οδηγίας (80/778/EC). Έχει ως στόχο την προστασία της υγείας του ανθρώπου από τις μολύνσεις του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση εξασφαλίζοντας την ποιότητα του προσθέτοντας απαιτήσεις που αφορούν στην διανομή του ποσίου νερού.
- Η οδηγία (2000/60/EC) θεσπίστηκε το 2000 με ονομασία Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (The Water Framework Directive) και αποτελεί την βάση όλων των υπολοίπων οδηγιών. Σκοπός της είναι η θέσπιση κανόνων προκειμένου να σταματήσει η συνεχή υποβάθμιση των υδάτινων σωμάτων της ΕΕ και να επιτύχει καλή ποιότητα για όλα τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα έως το 2015. Επιπλέον αναγνωρίζει έμμεσα την επαναχρησιμοποίηση του νερού ως βιώσιμη στρατηγική για την αύξηση της διαθεσιμότητας νερού.
- Η οδηγία (2006/118/EC) του 2006 με ονομασία Οδηγία για τα Υπόγεια Ύδατα (Groundwater Directive). Καθιερώνει πρότυπα ποιότητας των υπογείων υδάτων και εισάγει μετρά για την πρόληψη τον περιορισμό ρύπων στα υπόγεια ύδατα.
- Η οδηγία (2013/39/EU) του 2013 με ονομασία Οδηγία για Ουσίες Προτεραιότητας (Priority Substance Directive). Τροποποιεί την Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/EC) και καθορίζει έναν κατάλογο 45 ουσιών προτεραιότητας για τα επιφανειακά ύδατα που θα πρέπει να παραμένουν κάτω από τα καθορισμένα επίπεδα για την ασφάλεια των υδάτινων συστημάτων και την ανθρώπινη υγεία.
- Το 2015 η Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability έκδωσε μια έκθεση με τίτλο Επαναχρησιμοποίηση νερού στη Ευρώπη – Προδιάγραφες, ανάγκες και εμπόδια προς την καινοτομία (Water Reuse in Europe - Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation). Αναλύει τις τεχνικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση του νερού ως στρατηγική διαχείρισης του νερού για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης νερού και παρουσιάζει τα μέχρι τότε πρότυπα και προδιάγραφες άλλων χωρών.
- Το 2016 προτείνεται τη δημιουργία μιας κοινής στρατηγικής για την ενσωμάτωση της επαναχρησιμοποίησης του νερού στον προγραμματισμό και τη διαχείριση των υδάτων

στο πλαίσιο της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα. Την ίδια χρονιά εκδόθηκε η τελική αναφορά για την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην εκτίμηση επιπτώσεων στο πλαίσιο της επαναχρησιμοποίησης νερού.

- Το Ιανουάριο του 2018 η DG Environment με την Joint Research Centre of the European Commission εκδώσαν την οδηγία « Ελάχιστες απαιτήσεις της ΕΕ για επαναχρησιμοποίηση νερού στη γεωργική άρδευση και την αναπλήρωση του υδροφόρου ορίζοντα ». Σε αυτή προτείνονται οι ελάχιστες απαιτήσεις ποιότητας του ανακτημένου νερού για την επαναχρησιμοποίηση του για γεωργική άρδευση και εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα. Έχει στόχο την χρησιμοποίηση του ως βάση για την δημιουργία νομών σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση του νερού τους τομείς αυτούς
- Το 2019 το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο εγκρίνει κανόνες για την προώθηση της γεωργικής επαναχρησιμοποίησης με την «Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on minimum requirements for water reuse» . Την ίδια χρονιά το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο συμφώνησε στη γενική προσέγγιση του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου για την επαναχρησιμοποίηση του νερού για γεωργική άρδευση και καθορίζει ελάχιστες απαιτήσεις ποιότητας νερού για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων για γεωργική άρδευση. Περιλαμβάνει αυστηρές απαιτήσεις για την ποιότητα του ανακτημένου νερού και την παρακολούθησή του ώστε να διασφαλίζεται η προστασία της υγείας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Στόχος της είναι η ενθάρρυνση για μεγαλύτερη χρήση ανακτημένου νερού και ταυτόχρονα προσπαθεί να συμβάλει στην μείωση της έλλειψης νερού. Βάση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το πλάνο αυτό θα μπορεί να αυξήσει την ποσότητα χρήσης ανακτημένου νερού για γεωργική άρδευση από το 1,7δισ m³ σε 6,6δισ m³ το χρόνο, μειώνοντας ταυτόχρονα την ανάγκη γλυκού νερού κατά 5%.
- Ο κανονισμός (ΕΥ) 2020/741 θεσπίστηκε το 2020 και τον Ιούνιο του 2023 τέθηκε σε εφαρμογή. Είναι ο πρώτος πανευρωπαϊκός κανονισμός για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση του νερού για γεωργική άρδευση.

Ελλάδα

- Στην Ελλάδα η οδηγία 91/271/ΕΟΚ ενσωματώθηκε με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 (Φ.Ε.Κ. 192Β/14-3-1997) με τίτλο "Μέτρα και Όροι για την επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων" και συμπληρώθηκε με τις ακόλουθες ΚΥΑ 19661/1982/1999 (Β 1811) και ΚΥΑ 48392/939/2002 (Β 405).
- Η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/ΕC) ενσωματώθηκε με τον νομό 3199/2003 και το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007.
- Για την επαναχρησιμοποίηση του νερού θεσπίστηκε η Κ.Υ.Α. 145116/2011 που καθορίζει τα μετρά και όρια για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων σε διάφορες εφαρμογές. Στην συνέχεια έλαβε τροποποίηση με την ΚΥΑ 191002/2013.
- Τελευταίος κανονισμός είναι ο (ΕU) 2020/741 που τέθηκε σε εφαρμογή για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ τον Ιούνιο του 2023.

Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO)

Το 1973 ο WHO δημοσίευσε την πρώτη οδηγία του που αφορά την επαναχρησιμοποίηση νερού με τίτλο «Επαναχρησιμοποίηση Νερού: μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων και διασφάλιση υγείας». Στόχος της οδηγίας ήταν η προστασία της δημοσίας υγείας και η ασφαλής χρήση των λυμάτων στην καλλιέργεια και υδατοκαλλιέργεια. Το 1989 έκδωσε δεύτερη οδηγία που πρόκειται για αναθεωρημένη έκδοση της προηγούμενη οδηγίας με τίτλο «Οδηγίες Υγείας για την χρήση αποβλήτων στις καλλιέργειες και υδατοκαλλιέργειες», που περιείχε όρια για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για γεωργία καθώς και την πρόσθεση πλήρους ανάλυσης επιδημιολογικών μελετών, εστιάζοντας στην μικροβιολογική ποιότητα του ανακτωμένου νερού στη γεωργία. Το 2006 εκδόθηκε η τρίτη οδηγία με τίτλο «Safe use of wastewater, excreta, and greywater». Στόχος της οδηγίας είναι η συνεισφορά της στη δημιουργία κανονισμών και προτύπων σε κάθε χώρα για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού. Ενημερώνει τις κατώτερες συγκεντρώσεις E. Coli που περιέχονται

στο νερό για να μπορεί να αξιοποιηθεί στη άρδευση για γεωργία και ενημερώνει τα υπάρχοντα όρια άλλων ουσιών βάση πληροφοριών από τις αξιολογήσεις κινδύνων υγείας και των επιδημιολογικών μελετών. Θέτει τις απαραίτητες προδιαγραφές για τις διαδικασίες κατά την άρδευση με επεξεργασμένα λύματα. Παράδειγμα είναι η κατηγοριοποίηση της άρδευσης σε περιορισμένη και απεριόριστη και οι διαδικασίες εξάσκησης των. Ορίζεται η μονάδα DALYs (Disability-adjusted life years) για τη διαχείριση κινδύνων για την υγεία από το ανακτώμενο νερό, που αν ξεπεραστούν τα όρια που του έχουν τεθεί, τότε επιβαρύνει την υγεία του ανθρώπου. Τα όρια που τέθηκαν είναι τα 10^{-6} DALYs να θεωρούνται ως ο ανεκτικός κίνδυνος του ανθρώπου ενάντια ασθενειών από το νερό.

FAO (Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών)

Το 1999 χωρίζει την επαναχρησιμοποίηση του νερού για γεωργία σε 3 κατηγορίες καθώς και τρεις βαθμούς περιορισμού ανάλογα την ποιότητα του νερού (σοβαρού, ελαφρού έως μέτριου και καθόλου).

- Κατηγορία Α: Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που θα καταναλωθούν χωρίς επεξεργασία, δημόσια πάρκα και γήπεδα.
- Κατηγορία Β: Άρδευση καλλιεργειών δημητριακών, βιομηχανικών καλλιεργειών, κτηνοτροφικών καλλιεργειών, βοσκοτόπων και δέντρων.
- Κατηγορία Γ: Τοπική άρδευση των καλλιεργειών της κατηγορίας Β εάν δεν υπάρχει έκθεση των εργαζομένων και του κοινού.

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Σύμφωνα με τις JRC Guidelines, 22 πολιτείες έχουν κανονισμούς επαναχρησιμοποίησης νερού και 11 πολιτείες έχουν οδηγίες. Βάση της (ΠΛΙΑΤΣΙΚΑΣ ΠΕΤΡΟΥΛΑΣ, 2023) οι πολιτείες του Κονέκτικατ, του Κεντάκι, του Μέιν, του Νιου Χάμσαϊρ και της Νέας Υόρκης δεν έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Επιπλέον, 43 πολιτείες έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για μη εδώδιμες καλλιέργειες και επεξεργασμένες

καλλιέργειες τροφίμων για άρδευση με ανακτημένα λύματα, ενώ 27 πολιτείες έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για καλλιέργειες τροφίμων. Ακόμη, 32 πολιτείες έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για απεριόριστη αστική χρήση και 40 πολιτείες έχουν κανονισμούς και οδηγίες για περιορισμένη αστική χρήση. Βάση της US Environmental Protection Agency στην **Καλιφόρνια** η Επιτροπή Ελέγχου Υδάτινων Πόρων της Πολιτείας της Καλιφόρνιας (SWRCB), Διεύθυνση Πόσιμου Νερού είναι στη πορεία δημιουργίας ενιαίων κριτηρίων για την άμεση πόσιμη χρήση ανακτωμένου νερού και υπολογίζετε η ολοκλήρωση της στο τέλος του 2023. Επίσης υπό ανάπτυξη βρίσκονται πρότυπα ποιότητας νερού βασισμένα στους κίνδυνους για την επιτόπου (on site) επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση μη πόσιμου νερού για πολυκατοικίες, κατοικίες και επαγγελματικούς χώρους. Στη **Φλόριντα** το Υπουργείο Περιβαλλοντικής Προστασίας της Φλόριντας είναι υπό ανάπτυξη κανονισμού για την έμμεση και άμεση ύδρευση (πόσιμη χρήση). Στο **Κολοράντο** το Τμήμα Δημόσιας Υγείας και Περιβάλλοντος του Κολοράντο (CDPHE) έχει αναπτύξει κανονισμό για την άμεση ύδρευση και αποτελεί μέρος του κανονισμού 11 (Colorado Primary Drinking Water Regulations) και είναι ενεργή από 01/2023.

Καλιφόρνια

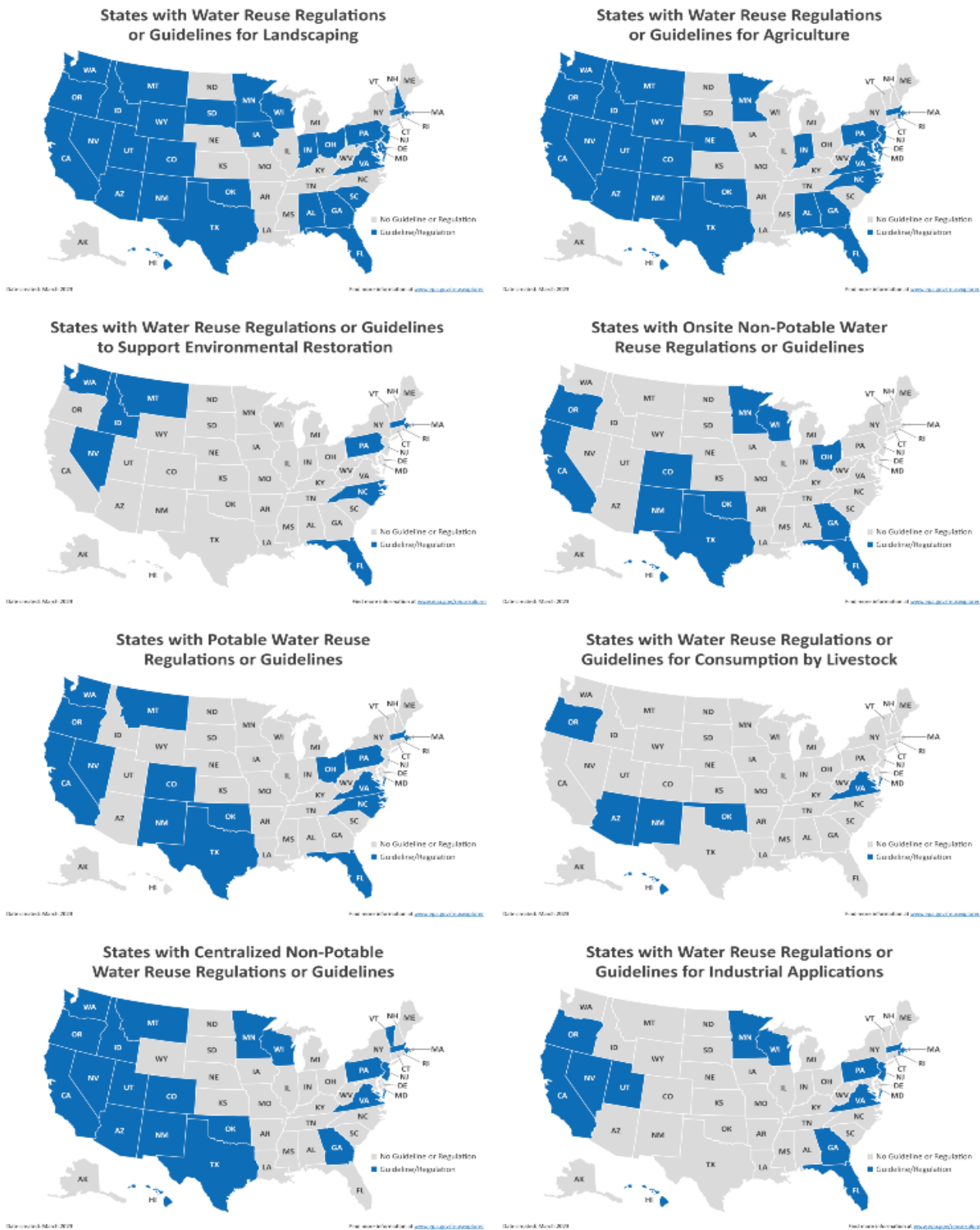
Αποτελεί το πρώτο κανονισμό επαναχρησιμοποίησης νερού σε παγκόσμιο επίπεδο, θεσπίστηκε το 1918 και ακολουθήσαν αναθεωρήσεις το 1978, 2001 και το 2013. Περιγράφει τους υγειονομικούς νόμους που σχετίζονται με το ανακτημένο νερό και περιλαμβάνει αποσπάσματα από τον Κώδικα Υγείας και Ασφάλειας, Κώδικα Υδάτων και Τίτλοι 22 και 17 του Κώδικα Κανονισμών της Καλιφόρνιας. Ο κανονισμός της Καλιφορνίας έχει αποτελέσει βάση για την ανάπτυξη των κανονισμών παγκοσμίως. Πρόκειται για κανονισμό που καλύπτει ποίκιλα θέματα στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης, όπως την ποιότητα του νερού, τους τρόπους εφαρμογής του ανακτώμενου νερού. Επιπλέον παρουσιάζει ένα αυστηρό πλαίσιο όσο αναφορά την ποιότητά του νερού που απαιτεί υψηλό επίπεδο απολύμανσης και επεξεργασίας με ολική αδρανοποίηση κολοβακτηριδίου <2,2 (ολικό κολοβακτηρίδιο/100 mL) (Farshid Shoushtarian et al. 2020). κατηγοριοποιεί το ανακτημένο νερό σε τρεις κατηγορίες. Tier 1, ανακυκλωμένο νερό που πληροί τα υψηλότερα πρότυπα ποιότητας νερού είναι

κατάλληλο για απεριόριστη άρδευση αστικών και τοπίων, γεωργική άρδευση, βιομηχανικές διεργασίες και έκπλυση τουαλέτας. Το Tier 2, χρησιμοποιείται για γεωργική άρδευση, βιομηχανικές διεργασίες και άρδευση τοπίου και το Tier 3, ανακυκλωμένο νερό που προορίζεται αποκλειστικά για αγροτική άρδευση με συγκεκριμένους περιορισμούς.

US Environmental Protection Agency (EPA)

Η EPA ανέπτυξε οδηγίες από το 1980 με τελευταία το 2012. Ο σκοπός της είναι η εύκολη εφαρμογή της διαδικασίας επαναχρησιμοποίησης νερού για όλους βάσει παγκόσμιων δεδομένων. Αποτελείται από οδηγίες για τις τεχνολογίες επεξεργασίας, τις διάφορες εφαρμογές ανακτωμένου νερού. Περιέχει θέματα όπως το σχεδιασμό και την λειτουργία μονάδων ανάκτησης νερού, τη διατήρησή του ανακτωμένου νερού, τις εφαρμογές του ανακτωμένου νερού από την γεωργική άρδευση, αστική άρδευση, βιομηχανική χρήση, περιβαλλοντική χρήση και εμπλουτισμός υπογείων υδάτων μέχρι και την χρήση για άμεση και έμμεση πόση. Παρουσιάζει ρυθμιστικά πλαίσια για την επαναχρησιμοποίηση νερού, οδηγίες για τις τεχνολογίες επεξεργασίας, τις καλύτερες και αποδοτικότερες πρακτικές καθώς και επιτυχή έργα επαναχρησιμοποίησης στον κόσμο. Μελετά την παράμετρο της κοινωνίας, την συμμετοχή της και την θέση της απέναντι στην επαναχρησιμοποίηση νερού. Γενικά πρόκειται για μια οδηγία που περιέχει όλες τις συνιστώσες για την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης.

Η παρακάτω (εικόνα 27) παρουσιάζει δεδομένα από το Μάρτιο του 2023 από την USEPA. Με χρώμα μπλε παρουσιάζονται οι πολιτείες που έχουν θέσει κανονισμούς για την επαναχρησιμοποίηση του νερού για τις διάφορες εφαρμογές και με γκρι αυτές που δεν έχουν θέσει. Βάση των χαρτών παρακάτω παρατηρούμε ότι οι πολιτείες που έχουν κανονισμούς για γεωργική χρήση είναι 28, για περιβαλλοντική αποκατάσταση είναι 8, για βιομηχανική χρήση είναι 15, για εξωραϊσμό είναι 32, για χρήση από ζώα είναι 6, για μη πόσιμη χρήση είναι 21, για επί τόπου μη πόσιμη χρήση είναι 15. Παρατηρείται ότι και μέχρι τώρα μερικές πολιτείες δεν έχουν θεσπίσει κάποιο κανονισμό.



Εικόνα 27: Χάρτης πολιτειών με κανονισμούς ή οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση νερού (epa.gov)

Ασία

Στην Ασία και πιο συγκεκριμένα στην Ιαπωνία η επαναχρησιμοποίηση νερού άργησε να εφαρμοστεί καθώς είναι μια χώρα που δεν αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας. Βάση της έρευνας της (Πλιάτσικας Πετρούλας, 2023) Το 2005 θεσπίστηκαν μέτρα για το ανακτώμενο νερό χωρίς όμως να περιέχονται όρια για τις χημικές ουσίες όπως φαίνεται παρακάτω.

	Πλύσιμο τουαλέτας	Ράντισμα	Άρδευση τοπίου	Ψυχαγωγικές εφαρμογές
<i>E. coli</i>	Δεν εντοπίστηκε	Δεν εντοπίστηκε	-	Δεν εντοπίστηκε
Ολικά κολοβακτηρίδια [CFU/100 mL]	-	-	1.000	-
Θολότητα [mg-καολίνη/L]	≤2	≤2	≤2	≤2
pH	5,8-8,6	5,8-8,6	5,8-8,6	5,8-8,6
Εμφάνιση	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο
Χρώμα [Μονάδα χρώματος]	-	-	≤40	≤10
Οσμή	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο
Υπολειμματικό χλώριο [mg/L]	Ελεύθερος: ≥0,1 Σύνολο: ≥0,4	Ελεύθερος: ≥0,1 Σύνολο: ≥0,4	-	Ελεύθερος: ≥0,1 Σύνολο: ≥0,4

Εικόνα 28: Πρότυπα ποιότητας για το ανακτημένο νερό στην Ιαπωνία (Πλιάτσικας Πετρούλας, 2023), (Takeuchi and Tanaka, 2020).

Ο κανονισμός που ισχύει στην Ιαπωνία είναι ο (National Institute for land and Infrastructure Management: Report of the Microbial Water quality project on treated sewage and reclaimed wastewater, 2008). Το 2015 θεσπίστηκε ο πρώτος νομός που τονίζει την σημασία της επαναχρησιμοποίησης νερού και την προώθηση της με τίτλο “The Basic Act on the Water Cycle”.

Στην **Σιγκαπούρη** το Συμβούλιο Κοινής Ωφέλειας (PUB) και ο Εθνικός Οργανισμός Περιβάλλοντος (NEA) είναι οι δυο βασικές υπηρεσίες για την διαχείριση της επαναχρησιμοποίησης νερού. Ο (PUB) είναι η κύρια νομοθετική υπηρεσία που διαχειρίζεται την παροχή νερού της Σιγκαπούρης, καθώς και τα δίκτυα αποχέτευσης και αποχέτευσης και η (NEA) είναι η κύρια θεσμική υπηρεσία που διαχειρίζεται τις εγκαταστάσεις υγιεινής της

Σιγκαπούρης, στο πλαίσιο της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι κανονισμοί περί νερού και αποβλήτων είναι κάτω από το Environmental Public Health Act κα Environment Protection and Management Act. Μετά το 2003 ο (PUB) ξεκίνησε την παροχή υψηλής ποιότητας νερού με ονομασία NEWater. Το NEWater ξεπερνά τα πρότυπα που θέτουν για χρήση ως πόσιμο νερό από οργανώσεις όπως το WHO, USEPA (Cecilia Tortajada, 2020).

Στην **Κίνα** υπάρχει ένα εθνικό πρότυπο για την επαναχρησιμοποίηση του νερού που κυκλοφόρησε το 2021 και έχει τεθεί σε ισχύ το 2022 με τίτλο «Water reuse guidelines-water quality management for water reclamation plants (GB/T 41016-2021)». Το πρότυπο καθορίζει βαθμούς ταξινόμησης του ανακτωμένου νερού από τα αστικά απόβλητα και θα είναι εφαρμόσιμο για σχέδια διανομής αστικών λυμάτων, διαχείριση ασφάλειας, αξιολόγηση απόδοσης, ανάλυση και ταξινόμηση ανακυκλωμένου νερού. Το ανακτώμενο νερό ταξινομείται σε τρεις βαθμούς Α, Β και Γ και ταξινομείται περαιτέρω σε 10 κατηγορίες με βάση τις βασικές απαιτήσεις για την ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού. Το πρότυπο παρέχει επίσης καθοδήγηση για την τυπική διαδικασία εφαρμογής και επεξεργασίας για κάθε κατηγορία ανακυκλωμένου νερού. Στο νέο εθνικό πρότυπο περιλαμβάνονται και τα εθνικά πρότυπα που εκδοθήκαν την περίοδο 2002-2005 με τίτλο Επαναχρησιμοποίηση Αστικού Ανακτωμένου Νερού και είναι τα:

- Πρότυπο ταξινόμησης (GB/T 18919-2002). το πρότυπο καθορίζει τις κατηγορίες (γεωργική, αστική, βιομηχανική, περιβαλλοντική χρήση) και το εύρος της επαναχρησιμοποίησης του ανακτωμένου νερού.
- Πρότυπο ποιότητας νερού για Αστική χρήση (GB/T 18920-2002). Σε εφαρμογές όπως καθαρισμό δρόμου, ξέπλυμα τουαλέτας, κτλ.
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για περιβαλλοντικούς λόγους (GBT 18921-2002). Σε εφαρμογές όπως σιντριβάνια, λίμνες, καταρράκτες, αναψυχής.
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση (GBT 19923-2005).

- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για επαναχρησιμοποίηση για άρδευση πρασίνου χώρου (GB / T 25499-2010).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για επαναχρησιμοποίηση για άρδευση της γεωργικής γης (GB20922-2007).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για την αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων (GB/T 19772-2005).

Βαθμος		Βασικές απαιτήσεις για την ποιότητα του νερού	Τυπική εφαρμογή	Διαδικασία επεξεργασίας
C	C2	GB 5084 (Ξηρές καλλιέργειες, καλλιέργειες με υγρούς σπόρους)	Άρδευση γεωργικών εκτάσεων (ξεροκαλλιέργειες) κ.λπ.	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση. Η κοινή δευτερογενής επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της διαδικασίας ενεργοποιημένης λάσπης, της διαδικασίας βιοφίλμ κ.λπ.
	C1	GB 20922 (καλλιέργειες με ίνες, καλλιέργειες ξηράς, ελαιούχες καλλιέργειες, καλλιέργειες με υγρούς σπόρους)	Άρδευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων (υγροσπόροι καλλιέργειες) κ.λπ.	
B	B5	GB 5084 (λαχανικά) GB 20922 (λαχανικά χωραφιού)	Άρδευση καλλιεργειών (λαχανικά) κ.λπ.	Αρχικά δευτεροβάθμια επεξεργασία, τρίτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση. Σύμφωνα με τη ζήτηση, η τρίτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να εκτελεστεί με μία ή πολλαπλές τεχνικές από τις ακόλουθες: πήξη, φίλτρο, βιοφίλτρο, τεχνητοί υγρότοποι, μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, όζον κ.λπ.
	B4	GB/T 25499	Άρδευση πρασίνου κ.λπ.	
	B3	GB/T 19923	Βιομηχανική χρήση (νερό ψύξης) κ.λπ.	
	B2	GB/T 18921	Χρήση τοπίου	
	B1	GB/T 18920	Αστική διάφορη χρήση	
A	A3	GB/T 1576	Βιομηχανική χρήση (νερό λέβητα)	Τρίτοβάθμια επεξεργασία και αξιοποίηση προηγμένης επεξεργασίας και απολύμανση. Η προηγμένη επεξ. και η τρίτοβαθμια επεξ. μπορούν να υιοθετηθούν από κοινού. Σύμφωνα με τη ζήτηση, η προηγμένη επεξεργασία μπορεί να εκτελεστεί με μία ή πολλαπλές τεχνικές από τις ακόλουθες: νανοδιήθηση, αντίστροφη όσμωση, προηγμένη οξειδωση, βιολογικός ενεργός άνθρακας, ανταλλαγή ιόντων κ.λπ.
	A2	GB/T 19772 (επαναφόρτιση με επιφανειακά νερά)	Αναπλήρωση υπόγειων υδάτων (αναπλήρωση με επιφανειακά νερά) κ.λπ.	
	A1	GB/T 19772 (επαναφόρτιση με νερό πηγαδιού)	Αναπλήρωση υπόγειων υδάτων (επαναφόρτιση με νερό πηγαδιών) κ.λπ.	
		GB/T 11446.1	Βιομηχανική χρήση (νερό που χρησιμοποιείται στη κατασκευή ηλεκτρονικών)	
		GB/T 12145	Βιομηχανική χρήση (νερό συμπλήρωσης λέβητα θερμοληκτρικού σταθμού)	

Εικόνα 29: Βαθμοί ανακτωμένου νερού στο (GB/T 41016-2021), (Envilience ASIA)

Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα- Προτάσεις

Η μελέτη της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού από μονάδες υγρών αποβλήτων είναι μια γρήγορα αναπτυσσόμενη έρευνα. Η περιβαλλοντική και κοινωνική κατάσταση που επικρατεί και το μέλλον που προβλέπεται από διάφορες μελέτες όπως αυξανόμενη λειψυδρία, αύξηση πληθυσμού αναδεικνύουν την σοβαρή και επείγουσα σημασία που έχει η ανάπτυξη και προώθηση πρακτικών για την καλύτερη και αποδοτικότερη διαχείριση του νερού για τη βιωσιμότητα των υδάτινων πόρων αλλά και του ανθρώπου.

Πρέπει να γίνει πιο κατανοητή και αποδεκτή η σημασία της τιμολόγησης του γλυκού και ανακτημένου νερού για την διασφάλιση των πηγών νερού. Πρακτικές όπως εξοικονόμηση νερού είναι μια από τις κύριες προτάσεις.

Η μελέτη των διάφορων εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης νερού και της αποτελεσματικής τιμολόγησης έχει παρουσιάσει τα ευεργετικά οφέλη που έχει το ανακτώμενο νερό στην αποσυμφόρηση της υδάτινης καταπόνησης, την μείωση των επιπτώσεων από την αλόγιστη διάθεση αποβλήτων στα υδάτινα σώματα και την εξοικονόμηση γλυκού νερού από διάφορες εφαρμογές για πόσιμη χρήση.

Η ύπαρξη κανονιστικών πλαισίων για την επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι κύριος παράγοντας στην μέχρι τώρα επιτυχία των ερευνών και έργων. Η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας πάνω στο θέμα του νερού και η ενεργή συμμετοχή του σε διαδικασίες και αποφάσεις μπορούν να συμβάλουν στην επίτευξη της βιωσιμότητας του περιβάλλοντος και της κοινωνίας.

Η ύπαρξη αποτελεσματικής τιμολόγησης μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην παροχή ισχυρών κίνητρων για την μετάβαση της κοινωνίας στην χρήση ανακτημένου νερού και την αύξηση των έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης. Στο θέμα της τιμολόγησης πρέπει να αναφερθεί ότι πέρα από το ρόλο του στην παροχή κίνητρων θα πρέπει ως βασικό στόχο του να καλύπτει πλήρως τα κόστη της παραγωγής ανακτημένου νερού για την βιωσιμότητα και ανάπτυξη των υπηρεσιών.

Η εισαγωγή “έξυπνων” τεχνολογιών μπορεί να προσφέρει μια ακόμα ασφάλεια και εγκυρότητα στο τομέα αυτόν. Μερικά παραδείγματα τέτοιων χρήσεων είναι η καταμέτρηση κατανάλωσης όγκου νερού ή την έγκυρη εποπτεία και ασφάλεια των διαδικασιών.

Η συνεχής εξέλιξη του τομέα αυτού μπορεί κάποια στιγμή να μας δώσει την τεχνολογία για τον πλήρη και ασφαλή καθαρισμό των υγρών αποβλήτων και να επιτρέψει στην χρήση του ως πόσιμη πηγή που θα είναι διαθέσιμη για όλους. Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού είναι μια πολλά υποσχόμενη έρευνα με ακόμα πολλές ευκαιρίες και αποτελέσματα να ανακαλυφθούν.

Βιβλιογραφία

Ezugbe, Elorm & Rathilal, Sudesh. (2020). Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. Membranes. DOI: 10.3390/membranes10050089.

A.N. Angelakis, D. Koutsoyiannis, G. Tchobanoglous, - Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece (2005) <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.08.033>

Francisco López Peñalver, Leonardo Piccinetti, Donatella Santoro (2018). WP5.1 Reinventing Water pricing.

Varsha Bohra, Kamal U. Ahamad, Abhidha Kela, Gaurav Vaghela, Ashutosh Sharma, Bhaskar Jyoti Deka, Chapter 2 - Energy and resources recovery from wastewater treatment systems, 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90178-9.00007-X>.

United States Environmental Protection Agency (September 2000). Wastewater Technology Fact Sheet Trickling Filters. EPA 832-F-00-014

Ewa Neczaj, Anna Grosser - Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Challenges and Barriers (2018). <https://doi.org/10.3390/proceedings2110614>

United States Environmental Protection Agency (2007). Wastewater Management Fact Sheet 1 Membrane Bioreactors

Malgorzata J. Kacprzak & Iwona Kupich - The specificities of the circular economy (CE) in the municipal wastewater and sewage sludge sector—local circumstances in Poland (2021).

Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond and Christian Zurbrügg (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies

Ifeanyi Michael Smarte Anekwe, Jeremiah Adedeji, Stephen Okiemute Akpasi and Sammy Lewis Kiambi (2022). Available Technologies for Wastewater Treatment. DOI: 10.5772/intechopen.103661

Bixio, D. & Thoeve, C. & Koning, J. & Joksimovic, Darko & Savic, Dragan & Wintgens, T. & Melin, Thomas. (2006). Wastewater reuse in Europe. DOI: 10.1016/j.desal.2005.04.070.

Kehrein, Philipp & van Loosdrecht, Mark & Osseweijer, Patricia & Dewulf, Jo & Garfí, Anna & Posada, John. (2020). A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants – market supply potentials, technologies and bottlenecks. Environmental Science: Water Research & Technology. DOI: 10.1039/C9EW00905A.

Prochaska, Charikleia, and Anastasios Zouboulis. 2020. "A Mini-Review of Urban Wastewater Treatment in Greece: History, Development and Future Challenges" *Sustainability* 12, no. 15: 6133. <https://doi.org/10.3390/su12156133> Possibilities and Challenges of Wastewater Reuse—Planning Aspects and Realized Examples Sonja Bauer

Kavindra Kumar Kesari - Wastewater Treatment and Reuse: a Review of its Applications and Health Implications

Harlan H. Bengtson, PhD, P.E - Biological Wastewater Treatment Processes II: MBBR Processes

Varsha Bohra, Kamal U. Ahamad, Abhidha Kela, Gaurav Vaghela, Ashutosh Sharma, Bhaskar Jyoti Deka, Chapter 2 - Energy and resources recovery from wastewater treatment systems, (2022) <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90178-9.00007-X>.

United Nations World Water Development Report, 2017

Yifan Gu et al. (2017) - Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges

Gude VG. Desalination and sustainability - An appraisal and current perspective (2015) DOI: 10.1016/j.watres.2015.11.012

Βρυξέλλες, 4.3.2019 COM(2019) 190 final (ΕΚΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ σχετικά με την υλοποίηση του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία)

Rathika Selvaraj et al; 2019 - Eco-friendly utilization of wastewater in agriculture

Mohammad Badruzzaman, Jasem R. Anazi, Fawaz A. Al-Wohaib, Abdulaziz A. Al-Malki, Fadel Jutail, Municipal reclaimed water as makeup water for cooling systems: Water efficiency, biohazards, and reliability 2022, <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100188>.

Mohamed Samer (2015). Wastewater Treatment Engineering. DOI: 10.5772/61250

Sameer Al-Asheh, Marzieh Bagheri, Ahmed Aidan. Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Volume 4, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100109>.

Henze, M., & Ledin, A. (2001). Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. In P. Lens, G. Zeeman, & G. Lettinga (Eds.), Decentralised sanitation and reuse: Concepts, systems and implementation (Vol. Chapter 4, pp. 59-72). IWA Publishing.

Ayushi Mandloi¹ , Ketan Jain² , Khyati Shitole³ ^{1,3}Student, Department of Architecture, SDPS Women's College, Indore, India ²Professor, Department of Architecture, SDPS Women's College, Indore, India. (2018). Comparative Study of Different Technologies Involved in Small Sewage Treatment Plant

Chen, Hongzhang & Wang, Lan. (2017). Posttreatment Strategies for Biomass Conversion. DOI: 10.1016/B978-0-12-802417-1.00008-9.

Sharma and Kennedy 2017 - Soil aquifer treatment for wastewater treatment and reuse.
DOI:10.1016/j.ibiod.2016.09.013

Cecilia Tortajada, 2020, Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation Sustainable Development Goals, <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0069-3>

Minh T. Vu, Luong N. Nguyen, Jakub Zdarta, Johir A.H. Mohammed, Nirenkumar Pathak, Long D. Nghiem, Chapter 1 - Wastewater to R3 – resource recovery, recycling, and reuse efficiency in urban wastewater treatment plants, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90178-9.00014-7>.

Edokpayi, Joshua & Odiyo, J. & Durowoju, Olatunde. (2017). Impact of Wastewater on Surface Water Quality in Developing Countries: A Case Study of South Africa. DOI: 10.5772/66561.

A. N. Angelakis and P. Gikas (2014). Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states

Helmecke, M., Fries, E. & Schulte, C. Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. *Environ Sci Eur* **32**, 4 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0283-0>

Rita Leogrande et al, 2022 Reclaimed Water Use in Agriculture: Effects on Soil Chemical and Biological Properties in a Long-Term Irrigated Citrus Farm. DOI:10.3390/agronomy12061317

Leogrande R, Pedrero F, Nicolas E, Vitti C, Lacolla G, Stellacci AM. Reclaimed Water Use in Agriculture: Effects on Soil Chemical and Biological Properties in a Long-Term Irrigated Citrus Farm. *Agronomy*. 2022; 12(6):1317. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061317>

B.R. Hansona, L.J. Schwankl, K.F. Schulbach, G.S. Pettygrove,
A comparison of furrow, surface drip, and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water, (1997). [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01289-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01289-9).

Adrià Sunyer-Caldú, Paola Sepúlveda-Ruiz, Miquel Salgot, Montserrat Folch-Sánchez, Damia Barcelo, M. Silvia Diaz-Cruz, Reclaimed water in agriculture: A plot-scale study assessing crop uptake of emerging contaminants and pathogens, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 10, Issue 6, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108831>.

Prangya R. Rout, Tian C. Zhang, Puspendu Bhunia, Rao Y. Surampalli, Treatment technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants: A review, *Science of The Total Environment*, Volume 753, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141990>.

Gloria De Paoli, Verena Mattheiss (2016) Deliverable 4.7 Cost, pricing and financing of water reuse against natural water resources

D. Bixio, C. Thoeue, J. De Koning, D. Joksimovic, D. Savic, T. Wintgens, T. Melin, Wastewater reuse in Europe. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.070>.

Francisco López Peñalver et al. 2018, (European Commission - D5.1 REINVENTING WATER PRICING

Thalita Salgado Fagundes, Rui Cunha Marques, Challenges of recycled water pricing

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101569>

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/changes-in-wastewater-treatment-in-10/#tab-dashboard-01>

Andreas N. Angelakis et al. 2023 - A Critical Review of Water Reuse: Lessons from Prehistoric Greece for Present and Future Challenges. <https://doi.org/10.3390/w15132385>

Μελανθία Λιαντράκη (2019), Επαναχρησιμοποίηση νερού και η Κοινωνική αποδοχή του

ΠΛΙΑΤΣΙΚΑΣ ΠΕΤΡΟΥΛΑΣ (2023), ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

ΤΕΝΤΑ ΙΩΑΝΝΗ, 2004. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ ΦΕΚ 354Β_2011

Απόφαση Αριθμ. οικ.135275/2017 - ΦΕΚ 1751/Β/22-5-2017

Έγκριση γενικών κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης υπηρεσιών ύδατος. Μέθοδος και διαδικασίες για την ανάκτηση κόστους των υπηρεσιών ύδατος στις διάφορες χρήσεις του.

Νικόλαος Δέρκας, Δημήτριος Σκούρας, Δημήτριος Ψαλτόπουλος (2021), Οι αναγκαίες μεταρρυθμίσεις του θεσμικού, οργανωτικού και λειτουργικού πλαισίου των συλλογικών δικτύων άρδευσης στην Ελλάδα

ΠΡΙΦΤΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ (2022), Επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων σε αντιδραστήρα SBR

Ευθύμιος Νταρακάς (2010). Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Δρ. Χρυσάφενια Κουτσού. (2022). Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με Στόχο την Ανάκτηση Νερού

Μοίρας Βασίλειος - ΕΡΓΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (2023)

Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α. «Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκροών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα», Λάρισα 2009.

ΤΟΖΙΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, 2016 - ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΕΡΕΙΑΣ-ΟΡΦΑΝΩΝ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

<https://le vapor.com/mbbr-technology-for-wastewater-treatment/#:~:text=MBBR%20is%20commonly%20used%20in,down%20and%20remove%20pollutants%20effectively.>

<https://www.ssaeration.com/mbbr-vs-mbr-vs-sbbr-vs-sbr-vs-asp/#14>

<https://www.cedengineering.com/userfiles/Biological%20Wastewater%20Treatment%20II%20-%20MBBR%20Processes%20R1.pdf>

<https://edition.cnn.com/2022/08/20/world/rivers-lakes-drying-up-drought-climate-cmd-intl/index.html>

Psyttalia Wastewater Treatment Plant, 2020

Potable Reuse 101, American Water Works Association

deyamv.gr

deyakor.gr

eydap.gr

eyath.gr

eдея.gr

<https://sswm.info/>

<https://www.tuhh.de/>

Water-reuse-europe.org

epa.gov

water.europa.eu

thesourcemagazine.org

eib.org

pub.gov.sg

mnwd.com

Enviliance ASIA